

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**DETERMINACIÓN DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO CON LA ADICIÓN DE
PUZOLANA PARA VÍAS RURALES CON MATERIAL LOCAL DE LA MINA LA
VIRGINIA Y ARAÑA HUAYCU.**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE MAGISTER EN VIALIDAD Y TRANSPORTE**

AUTORAS:

ISAURA MARIBEL CASTRO LEÓN

CI: 1400573844

PAOLA VERÓNICA DELGADO GARZÓN

CI: 0103801973

DIRECTOR:

JAIME ASDRUBAL BOJORQUE IÑEGUEZ, PHD

C.I. 0102857885

CUENCA – ECUADOR

2017



RESUMEN

En la presente investigación se estudia una alternativa para elevar las propiedades geomecánicas del material de la mina La Virginia con la finalidad de utilizarlo como material de mejoramiento de la subrasante en vías de la región. Las características actuales del material no cumplen con las especificaciones técnicas del MTOP en cuanto al índice de plasticidad y límite líquido, por tal motivo, se investigará el empleo de estabilizante de puzolana proveniente de la mina Araña Huaycu para mejorar dichas características.

Para determinar la mezcla ideal de materiales de las minas Araña Huaycu y la Virginia, se realizan primero varios ensayos de laboratorio para caracterizar los materiales de mejoramiento y puzolana en su estado natural, seguido de ensayos de la mezcla de los materiales en las proporciones 90/10, 80/20 y 70/30 (mejoramiento/puzolana). Una vez obtenidos los resultados de laboratorio se comprueba que la puzolana mejora las características del material de mejoramiento en cuanto al índice de plasticidad, límite líquido, porcentaje de expansión y mejora el valor relativo de soporte CBR.

Con la finalidad de comparar la mezcla propuesta, se presentan resultados del diseño de la capa de rodadura, donde se evidencia que, al mejorar las características del material de La Virginia, los espesores del material de mejoramiento estabilizado disminuyen considerablemente, pasando de 48 cm (sin puzolana) a 36 cm (con una relación 70 mejoramiento y 30 puzolana). Del análisis económico de las alternativas de utilizar mejoramiento de La Virginia estabilizado, se encuentra que considerando todos los factores que afectan a los costos, el costo global del mejoramiento estabilizado con puzolana disminuye de manera importante.

Para el diseño presentado se determina que el porcentaje de mezcla 70/30 permite tener un espesor menor de la capa de rodadura, disminuyendo el costo global. Este tipo de material disminuirá también los costos de mantenimiento, debido a que los trabajos de mantenimiento necesarios decrecen al emplearse capas estabilizadas que tienen mejor resistencia. Esta mezcla además de bajar el índice de plasticidad y límite líquido, incrementa el valor CBR que se relaciona con la capacidad de soporte del material, cumpliendo de esta manera con las especificaciones del MTOP y disminuyendo los espesores de la capa de rodadura.

PALABRAS CLAVE: Puzolana, Mejoramiento, Estabilización mecánica.



ABSTRACT

In the present research, an alternative to increase the geomechanical characteristics of the "La Virginia" mine material is being studied in order to use it as an improvement material for the subgrade layer in the region's tracks. The current characteristics of the material do not meet the technical specifications of the MTOP in terms of the plasticity index and the liquid limit. For this reason, the use of the pozzolan stabilizer from the Araña Huaycu mine will be investigated to improve these characteristics.

To determine the composition of the ideal pozzolan mixture, several laboratory tests are performed to characterize the breeding materials and pozzolana in their natural state, followed by tests of the mixture of the materials in the proportions 90/10, 80/20 And 70/30 (breeding / pozzolana). With the laboratory results, it is verified that pozzolana improves the characteristics of the breeding material in terms of plasticity index, liquid limit, percentage of expansion and improves the relative value of CBR support.

In order to compare the proposed mixture, results of the design of the layer of rolling are presented, where it is evident that, by improving the material characteristics of the "La Virginia" mine, the thickness of the stabilized improvement material decreases considerably, Of 48 cm (without pozzolana) to 36 cm (with a relation 70 improvement and 30 pozzolana). From the economic analysis of the alternatives of using material stabilized improvement of the "La Virginia" mine, it is found that considering all the factors that affect the costs, the overall cost of stabilized improvement with pozzolana decreases significantly.

For the presented design, it is determined that the percentage of mixture 70/30 allows to have a smaller thickness for the rolling layer, reducing the overall cost. This type of material will also lower maintenance costs, because the required maintenance work decreases by using stabilized layers that have better strength. This mixture, in addition to lowering the plasticity index and liquid limit, increases the CBR value that is related to the bearing capacity of the material, thus complying with the MTOP specifications and decreasing the thickness of the rolling layer.

KEY WORDS: Pozzolan, mine material, mechanical stabilization.



INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
INDICE DE CONTENIDOS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
CLAUSULAS DE DERECHOS DE AUTOR	9
CLAUSULAS DE PROPIEDAD INTELECTUAL.....	9
AGRADECIMIENTO	11
DEDICATORIA.....	14
CAPÍTULO I.....	15
GENERALIDADES	15
1.1 INTRODUCCIÓN.....	15
1.2 OBJETIVOS.....	18
1.2.1 General	18
1.2.2 Específicos.....	18
1.3 METODOLOGÍA.....	19
CAPÍTULO II.....	21
MARCO TEÓRICO GENERAL.....	21
2.1 ESTADO DEL ARTE	21
2.1.1 Subrasante	21
2.1.2 Puzolana	22
2.1.3 Estabilización de Suelos	24
2.1.1 Estudios de adición de materiales pétreos para estabilización de suelos	25
CAPÍTULO III	28
GEOLOGÍA, PROCEDENCIA Y MÉTODOS	28



3.1	GEOLOGÍA DEL SECTOR DE PROCEDENCIA DE LOS MATERIALES	29
3.1.1	Litología	29
3.2	PROCEDENCIA DE LOS MATERIALES	33
3.2.1	Procedencia de material de Mina la Virginia	33
3.2.2	Procedencia de la puzolana	34
3.3	ENSAYOS DE LABORATORIO	34
3.3.1	Preparación de muestras	34
3.3.2	Ensayos Aplicados.....	35
CAPÍTULO IV		39
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS		39
4.1	ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN FÍSICA.....	39
4.1.1	Análisis granulométrico	39
4.1.2	Limites Atterberg y humedad natural	42
4.1.3	Clasificación	46
4.2	ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA	47
4.2.1	CBR.....	47
4.3	RESUMEN GENERAL DE RESULTADOS.....	59
CAPÍTULO V.....		63
DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO Y ANÁLISIS ECONÓMICO		63
5.1	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.....	63
5.2	ANÁLISIS ECONÓMICO	72
CAPÍTULO VI		75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		75
6.1	CONCLUSIONES.....	75
6.2	RECOMENDACIONES.....	78
BIBLIOGRAFÍA		79



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Ubicación mina La Virginia y mina Araña Huaycu.	17
Figura 2-1: Clasificación de volcanes en el Ecuador. (Instituto Geofísico, 2016).	23
Figura 3-1: Mapa Litológico Zona mina La Virginia y mina Araña Huaycu.	30
Figura 3-2: Mapa de Formaciones Geológicas Zona mina La Virginia y mina Araña Huaycu.	32
Figura 3-3: Mapa de Edades Geológicas Zona mina La Virginia y mina Araña Huaycu. ..	33
Figura 4-1: Curvas granulométricas de los materiales estudiados y las mezclas.	40
Figura 4-2: Variación de los límites Atterberg al añadir puzolana al material de mejoramiento de la mina La Virginia.	44
Figura 4-3: Variación del índice de plasticidad al añadir puzolana al material de mejoramiento de la mina La Virginia.	45
Figura 4-4: Variación del índice de plasticidad al añadir puzolana al material de mejoramiento de la mina La Virginia.	46
Figura 4-5: Densidad seca vs contenido de agua de la puzolana (PA) de la mina Araña Huaycu.	48
Figura 4-6: Densidad seca vs contenido de agua del mejoramiento (MV) de la mina La Virginia.	49
Figura 4-7: Curvas esfuerzo – penetración del mejoramiento (MV) de la mina La Virginia corregidas.	50
Figura 4-8: Determinación del CBR del mejoramiento (MV) de la mina La Virginia.	51
Figura 4-9: Densidad seca vs contenido de agua de la mezcla MV90/PA10.	52
Figura 4-10: Curvas esfuerzo – penetración de la mezcla MV90/PA10 corregidas.	53
Figura 4-11: Determinación del CBR de la mezcla MV90/PA10.	53
Figura 4-12: Densidad seca vs contenido de agua de la mezcla MV80/PA20.	54
Figura 4-13: Curvas esfuerzo – penetración de la mezcla MV80/PA20 corregidas.	55
Figura 4-14: Determinación del CBR de la mezcla MV80/PA20.	56
Figura 4-15: Densidad seca vs contenido de agua de la mezcla MV70/PA30.	57
Figura 4-16: Curvas esfuerzo – penetración de la mezcla MV70/PA30 corregidas.	58
Figura 4-17: Determinación del CBR de la mezcla MV70/PA30.	58



Figura 4-18: Variación de la Densidad Seca Máxima al añadir puzolana al material de mejoramiento.	60
Figura 4-19; Variación del contenido óptimo de humedad al añadir puzolana al material de mejoramiento.	60
Figura 4-20: Variación del CBR al 100% de la Densidad Seca Máxima al añadir puzolana de la mina Araña Huaycu al material de mejoramiento de la mina La Virginia.	61
Figura 4-21: Variación de la expansión al añadir puzolana al material de mejoramiento. .	62



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1: Normas ASTM para ensayos.	34
Tabla 3-2: Sistema de clasificación SUCS	37
Tabla 3-3: Sistema de clasificación AASHTO	38
Tabla 4-1: Granulometría de los materiales estudiados (mejoramiento, puzolana, mezcla 90-10, mezcla 80-20, mezcla 70-30 y especificación)	40
Tabla 4-2: Cantidad de grava, arena y finos de los materiales y las mezclas.	41
Tabla 4-3: Humedad natural.	43
Tabla 4-4: Clasificación de los materiales.	47
Tabla 4-5: Variación de la Densidad Seca Máxima.	59
Tabla 4-6: Resultados de ensayos CBR.	61
Tabla 5-1: Datos para diseño de pavimentos vía Paute-Matrama. (MTOP, 2012).	64
Tabla 5-2: Niveles de confiabilidad sugeridos para diferentes carreteras (AASHTO, 1993).	65
Tabla 5-3: Tabla para obtención de número estructural.	65
Tabla 5-4: Coeficientes de capa.	68
Tabla 5-5: Diseño de pavimento con mejoramiento MV.	70
Tabla 5-6: Diseño de pavimento con la mezcla MV90/PA10.	70
Tabla 5-7: Diseño de pavimento con la mezcla MV80/PA20.	71
Tabla 5-8: Diseño de pavimento con la mezcla MV70/PA30.	71
Tabla 5-9: Resumen de resultados.	72
Tabla 5-10: Costo de material más transporte por m ³ de material	73
Tabla 5-11: Costo de cada Material Granular.	73
Tabla 5-12: Análisis de Costos Material de Mejoramiento	74
Tabla 5-13: Análisis de Costos Mezcla MV70/PA30	74



CLAUSULAS DE DERECHOS DE AUTOR



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

ISAURA MARIBEL CASTRO LEÓN, autora de la tesis "DETERMINACIÓN DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO CON LA ADICIÓN DE PUZOLANA PARA VÍAS RURALES CON MATERIAL LOCAL DE LA MINA LA VIRGINIA Y ARAÑA HUAYCU", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de MAGISTER EN VIALIDAD Y TRANSPORTE. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, junio del 2017


ISAURA MARIBEL CASTRO LEÓN
C.I: 1400573844



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

PAOLA VERÓNICA DELGADO GARZÓN, autora de la tesis "DETERMINACIÓN DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO CON LA ADICIÓN DE PUZOLANA PARA VÍAS RURALES CON MATERIAL LOCAL DE LA MINA LA VIRGINIA Y ARAÑA HUAYCU", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de MAGISTER EN VIALIDAD Y TRANSPORTE. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, junio del 2017

PAOLA VERÓNICA DELGADO GARZÓN
C.I: 0103801973

CLAUSULAS DE PROPIEDAD INTELECTUAL



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

ISAURA MARIBEL CASTRO LEÓN, autora de la tesis "DETERMINACIÓN DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO CON LA ADICIÓN DE PUZOLANA PARA VÍAS RURALES CON MATERIAL LOCAL DE LA MINA LA VIRGINIA Y ARAÑA HUAYCU", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, junio del 2017


ISAURA MARIBEL CASTRO LEÓN
C.I.: 1400573844



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

PAOLA VERÓNICA DELGADO GARZÓN, autora de la tesis "DETERMINACIÓN DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO CON LA ADICIÓN DE PUZOLANA PARA VÍAS RURALES CON MATERIAL LOCAL DE LA MINA LA VIRGINIA Y ARAÑA HUAYCU", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, junio del 2017

PAOLA VERÓNICA DELGADO GARZÓN
C.I: 0103801973



AGRADECIMIENTO

A Dios, por brindarme la oportunidad y la salud para llevar a término éste nuevo paso en mi vida profesional y personal, gracias a mi esposo y a mis hijos por regalarme un poco de su tiempo en logro de esta meta, además de su apoyo incondicional en mis decisiones, agradezco a mi tutor por la confianza y colaboración en el seguimiento y supervisión de la presente tesis.

De manera similar quiero expresar un agradecimiento lleno de satisfacción y cariño a mis familiares que me animaron y apoyaron en este logro y que de forma directa o indirecta aportaron en la culminación de este ideal.

Gracias.

Maribel Castro

Un sincero agradecimiento a nuestro director de tesis Dr. Jaime Bojorque por su gran dedicación y contribución de conocimientos a nuestro proyecto.

Un agradecimiento especial a mi familia por brindarme su apoyo y su tiempo.

Paola Delgado



DEDICATORIA

De manera especial quiero dedicar mi Maestría al motor de mi vida, a quienes son el origen de mi fortaleza, que están presentes en mi mente y corazón en cada aspecto de mi vida, a mi esposo Bayron y a mis hijos, Sebastián, Alejandro e Isabella. El conocimiento es una de las mejores herramientas de la vida, además de la honestidad y humildad, de la cual ustedes deben acoger.

Maribel Castro

Dedico esta tesis a Santiago y a Julián, lo más importante en mi vida. A mi madre, mi familia y de manera especial a quienes siempre me apoyaron y educaron, mis abuelos Blanca y Carlos.

Paola Delgado



CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

La introducción debe identificar claramente cuál es el problema, especificar límites para el estudio actual, proponer una solución basada en información previa o estudios previos que la respalden, proponer claramente la hipótesis del trabajo y establecer la metodología a usar.

En nuestro país el mantenimiento vial a nivel de capas de material granular se emplea principalmente en vías rurales, utilizando principalmente material de mejoramiento. En nuestro medio se conoce como material de mejoramiento, al material granular que cumple con las especificaciones normadas en las NEVI 2012, cuyo requerimiento es que el mismo sea un “Suelo granular, material rocoso o combinaciones de ambos, libre de material orgánico y escombros, y salvo que se especifique de otra manera, tendrá una granulometría tal que todas las partículas pasarán por un tamiz de cuatro pulgadas (100 mm.) con abertura cuadrada y no más de 20 por ciento pasará el tamiz N° 200 (0,075 mm), de acuerdo al ensayo AASHO-T.11. La parte del material que pase el tamiz N° 40 (0.425 mm.) deberá tener un índice de plasticidad no mayor de nueve (9) y límite líquido hasta 35% siempre que el valor del CBR sea mayor al 10%, tal como se determina en el ensayo AASHO-T-91. Material de tamaño mayor al máximo especificado, si se presenta, deberá ser retirado antes de que se incorpore al material en la obra.” (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013)

Para llevar a cabo este tipo de mantenimiento vial, las entidades públicas deben ubicar minas de material granular adecuado, para utilizarlo como capa de rodadura. En ocasiones no todas las minas ubicadas cumplen con las especificaciones solicitadas, sin embargo, a falta de otras opciones el material que se emplea de las mismas, resulta de mala calidad y los mantenimientos se deben hacer con mayor frecuencia. Para mitigar en cierta medida este problema se trata de estabilizar los suelos de mala calidad, en nuestro medio se utiliza principalmente cal, cemento y estabilizadores químicos. Por otro lado, estas soluciones de estabilización resultan costosas por lo que es importante encontrar otras



opciones de estabilización que no sean costosas y en las que su aplicación no sea complicada.

Actualmente se realizan una gran cantidad de estudios de estabilización de suelos a nivel internacional, cuya finalidad es mejorar las propiedades, capacidad portante y compresión de los suelos, con el fin de reducir costos en el material pétreo utilizado en las capas de la estructura de la vía (Hensley, Jensen, & Berryman, 2007). En el país los estudios de estabilización de suelos se centran principalmente en utilizar cemento, respecto a estabilización con materiales granulares no existe mucha información, considerando que este tipo de estudio podría ser de utilidad para muchas entidades, dedicadas al mantenimiento vial, se propone estudiar esta solución.

En nuestro medio es el Gobierno Provincial del Azuay quien realiza el mantenimiento de vías rurales, en su mayoría a nivel de lastre. Es desde esta entidad que nace la necesidad de buscar alternativas que permitan optimizar los recursos disponibles. Esta entidad debe mantener 3700 kilómetros de vías, de las cuales 3200 kilómetros se encuentran a nivel de lastre. La entidad tiene la capacidad de mantener anualmente aproximadamente 1300 kilómetros de vías, es decir el restante de 1900 kilómetros debe esperar a la siguiente etapa para su mantenimiento. (Gobierno Provincial del Azuay, 2016) Sin embargo la complicación es que en cada invierno las vías presentan deterioros y requieren mantenimientos frecuentes, por lo que sería ideal analizar una alternativa que permita colocar un material como capa de rodadura que requiera intervenciones menos frecuentes. Esta disminución de frecuencias de mantenimientos para la institución, significaría además un ahorro de recursos para la entidad en el área operativa.

En base a esta necesidad, se investiga si es posible mejorar las características del material de mejoramiento de la mina La Virginia, utilizando como material estabilizante la puzolana proveniente de la mina Araña Huaycu, ambas concesionadas al Gobierno Provincial y al GAD Municipal de Guachapala respectivamente, cuya ubicación se muestran en la Figura 0-1. Cabe destacar que los materiales procedentes de las minas referidas son seleccionados debido a que, en el caso del material de mejoramiento, este es muy utilizado para el mantenimiento actual de las vías de la zona, sin embargo, de acuerdo a observación de las investigadoras, este presenta deterioros importantes en periodo

invernal. Y en contraposición se ha observado que el material de la mina Araña Huaycu colocado como capa de rodadura presenta una mejor resistencia a los inviernos, requiriendo mantenimientos menos frecuentes.

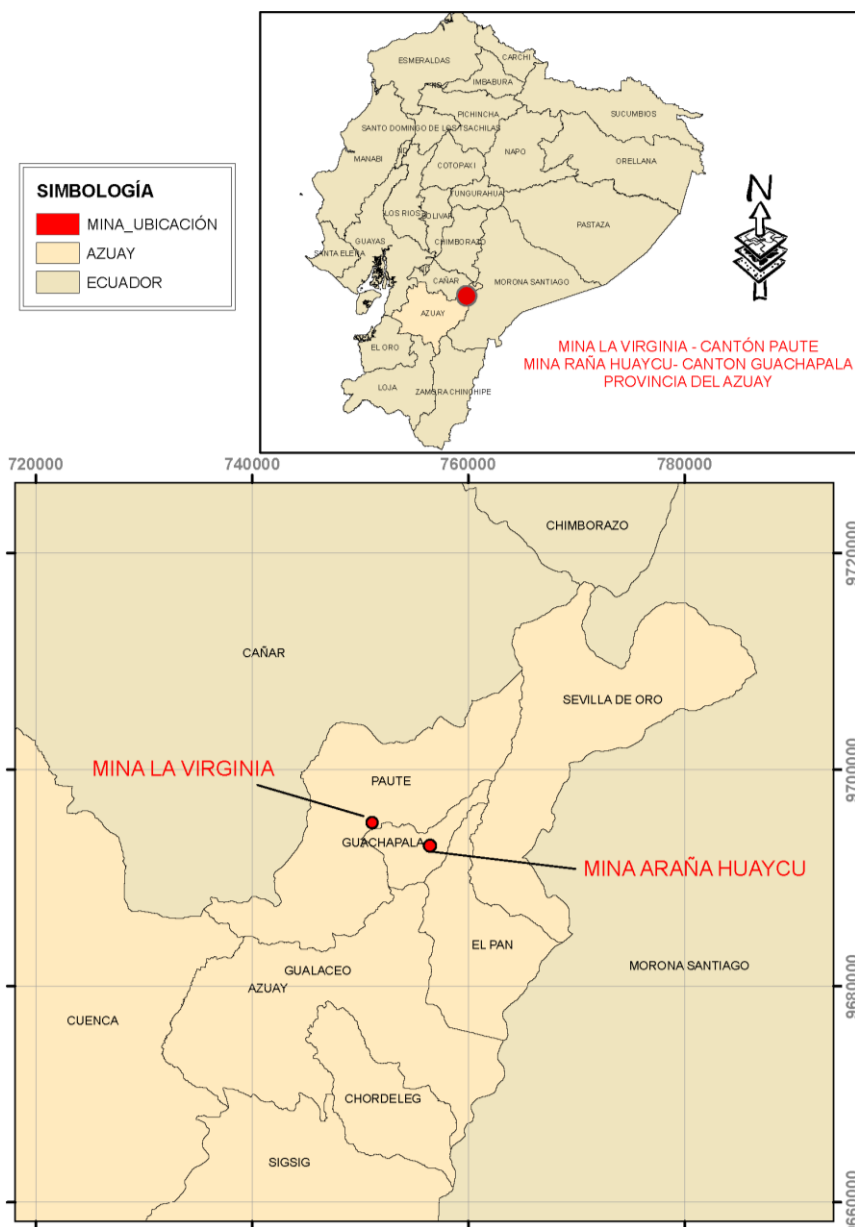


Figura 0-1: Ubicación mina La Virginia y mina Araña Huaycu.

Basándose en la necesidad presentada, la hipótesis de la presente investigación será que al agregar material granular de la mina Araña Huaycu al material granular de la mina La Virginia, la mezcla obtenida adquirirá mejoras en sus propiedades físicas que permitirán utilizarlo como capa de pavimento para vías terciarias.

Para demostrar la eficacia de la mezcla de materiales pétreos propuesta, en primera instancia se expondrán las denominaciones de los materiales en estudio, material granular para mejoramiento y puzolana, a continuación se presentará la geología y procedencia de los materiales granulados seleccionados para el estudio, se efectuarán ensayos de laboratorio como análisis granulométricos, límites de consistencia, peso específico seco máximo y humedad óptima, CBR (Valor Relativo de Soporte) y resistencia a la compresión simple, los mismos que permitirá llegar a las conclusiones que determinen si la hipótesis presentada es positiva y justifica la optimización de recursos. Los ensayos se realizarán tomando varias dosificaciones del material puzolánico, para de esta manera llegar a un resultado que permita conocer el porcentaje recomendable de material pétreo de Araña Huaycu para ser combinado con material de la mina La Virginia.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 General

Determinar una mezcla óptima entre el material de mejoramiento proveniente de la mina La Virginia y la puzolana proveniente de la mina Araña Huaycu que sirva como capa de pavimento en vías terciarias de la provincia del Azuay.

1.2.2 Específicos

- Conocer las características principales de cada uno de los materiales granulares de cada mina en estudio.
- Determinar la geología y procedencia de cada uno de los materiales.
- Realizar ensayos de laboratorio que permitan conocer las propiedades de cada material de mina.
- Determinar los porcentajes óptimos de las mezclas para material de mejoramiento combinando material proveniente de la mina La Virginia y de Araña Huaycu.
- Realizar ensayos de laboratorio para cada una de las mezclas de material de las minas.
- Evaluar las características y propiedades de los materiales de las minas de estudio y de la mezcla propuesta.
- Evaluar y comparar económicamente los costos del material propuesto.

1.3 METODOLOGÍA

Para cumplir con los objetivos, en primer lugar, se ubicarán las minas de donde se extraerán los materiales a investigar. En este caso el banco de puzolana de la mina Araña Huayco y de la mina de material de mejoramiento La Virginia.

Una vez ubicado el material se procederá a determinar su geología con el fin de conocer las características del material y de la zona, además nos permitirá conocer si la explotación se podría llevar a cabo más allá de los límites de las minas escogidas.

Se realizarán ensayos de laboratorio como: análisis granulométricos, límites de consistencia, densidad seca máxima y humedad óptima, en una muestra de la mina La Virginia, en una muestra de la mina Araña Huaycu y de la misma manera se aplicara estos ensayos para una muestra de cada una de las mezclas realizadas, el ensayo de CBR (Valor Relativo de Soporte) se aplicara a una muestra de material de la Mina La Virginia y a cada una de las mezclas, finalmente el ensayo de resistencia a la compresión simple se aplicara a una muestra de cada uno de los materiales de mina y a cada uno de los materiales de mezcla.; estos ensayos se aplicaran con el fin de determinar así las propiedades y características del material.

Antes de realizar los ensayos se realizará mezclas, en el material de la mina La Virginia se le incluirá diferentes porcentajes de puzolana proveniente de la mina Araña Huaycu, considerando tres mezclas con 10, 20 y 30% respectivamente de material de la mina Araña Huaycu. Este rango de valores se adopta ya que autores demuestran que los mejores resultados se consiguen adicionando la puzolana en los porcentajes antes indicados, en el Capítulo II se detalla la revisión bibliográfica realizada. (Perez, 2012)

Una vez obtenidos los resultados de ensayos aplicados, se realizará un análisis que permita determinar si las propiedades del suelo mezclado son más idóneas para estabilizar una subrasante, y además cuál de las opciones de porcentajes en la mezcla de materiales resulta más recomendable.



Finalmente, con el porcentaje más recomendable en base al análisis de resultados de ensayos de laboratorio, se realizará un análisis de costos, donde se hará una comparación de lo que costaría colocar como capa de rodadura mejoramiento nada más y la mezcla investigada aquí para la estabilización. Para esta comparación se tomará en cuenta factores como precio unitario de explotación, transporte, costos operativos y de mantenimiento proyectado. Una vez realizado este análisis se determinará si el costo de construcción y mantenimiento de la estabilización propuesta resulta recomendable.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO GENERAL

En este capítulo se presenta las definiciones de los materiales pétreos utilizados en esta investigación, material de mejoramiento y puzolana, además de definiciones de lo que es una subrasante, además se presentara también conceptos breves de los métodos de estabilización de suelos más utilizados en nuestro medio.

2.1 ESTADO DEL ARTE

2.1.1 Subrasante

2.1.1.1 Generalidades

Se denomina subrasante al nivel del suelo natural que se utiliza como fundación para todas las capas que componen la estructura de la vía. Si este nivel de suelo no es bueno de acuerdo a sus características físicas y mecánicas, se debe utilizar procesos de mejoramiento mecánicos o estabilización química.

2.1.1.2 Mejoramiento de la subrasante con suelo seleccionado

De acuerdo a la normativa nacional vigente, publicada en el Manual NEVI 2012 del Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, las características del suelo de subrasante que sean deficientes, pueden ser mejoradas con suelo seleccionado, o mediante estabilización, entre ellas las más utilizadas son: estabilización con cal, estabilización con material pétreo, membranas sintéticas, o mezcla de materiales previamente seleccionados y aprobados. (cita formal)

En caminos rurales, competencia del Gobierno Provincial del Azuay donde se realiza mantenimiento vial a nivel de mejoramiento de la subrasante con material granular, el material de mejoramiento se obtiene a través de explotaciones de minas autorizadas, considerando que este material seleccionado debe ser suelo granular, material rocoso o combinaciones de ambos, libre de material orgánico y escombros, y salvo que se especifique de otra manera, tendrá una granulometría tal que todas las partículas pasarán



por el tamiz de cuatro pulgadas (100 mm) con abertura cuadrada y no más de 20% pasará el tamiz N° 200 (0,075 mm), de acuerdo al ensayo AASHO-T.11. (cita)

La parte del material que pase el tamiz N° 40 (0.425 mm) deberá tener un índice de plasticidad no mayor de nueve (9) y límite líquido que no sobrepase el 35%, y el valor del CBR deberá ser mayor al 10%, estos parámetros de acuerdo al ensayo AASHO-T-91.

La distribución, conformación y compactación del suelo seleccionado se efectuará de acuerdo a los requisitos de los numerales 402-1.05.1 de las Especificaciones Generales; sin embargo, la densidad de la capa compactada deberá ser el 95% en vez del 100% de la densidad máxima, según AASHO.T.180, método D.

En la Provincia del Azuay, los principales yacimientos de materiales pétreos se obtienen en la zona noreste de la provincia, tomando en esta investigación como material de estudio específicamente el obtenido en la mina La Virginia del Cantón Paute y el material de la Mina Araña Huaycu en el cantón Guachapala. Minas que son concesionadas para la explotación de áridos para las carreteras de la provincia.

2.1.2 Puzolana

2.1.2.1 Generalidades

La puzolana es un material que está compuesto principalmente por compuestos silíceos o aluminio-silíceos. (Suárez & Urgilés, 2010). La puzolana se la utiliza como aditivo del cemento Portland, con un contenido que puede variar entre un 35 hasta un 55%. En nuestro medio se la utiliza, además, como ornamento de parques y jardines y, empíricamente, para la estabilización de suelos.

La puzolana tiene origen volcánico y se encuentra en varios lugares del planeta, se la puede ubicar el “Círculo de Fuego del Pacífico”, que inicia en Alaska y pasa por Filipinas, Japón y Siberia. (Suárez & Urgilés, 2010). Este tipo de material en la provincia se lo encuentra en la mina Araña Huaycu.

2.1.2.2 Las Puzolanas en el Austro Ecuatoriano.

En la zona Austral este material existe en una cantidad considerable (de origen volcánico) y en su mayoría no es explotado, ya que dentro de la construcción se lo utiliza únicamente como aditivo del cemento Portland y en ocasiones como mejoramiento de subrasantes de las zonas cercanas a los yacimientos. La manifestación más importante de este material volcánico se encuentra en la zona de Llacao, Solano y Déleg.

Al ser la puzolana un material de origen volcánico, se presenta comúnmente cerca de volcanes. En el Ecuador existen cuatro volcanes considerados en erupción: el Cotopaxi, Tungurahua, Reventador y Sangay, de los 84 existentes. En la Figura 2.1 se presenta la ubicación geográfica de estos volcanes activos. El volcán Tungurahua es considerado uno de los volcanes más activos, tiene una forma cónica con una elevación de 5023 metros, está ubicado a 33 km al sureste de Ambato, por esta razón se toma sus propiedades como referencia.

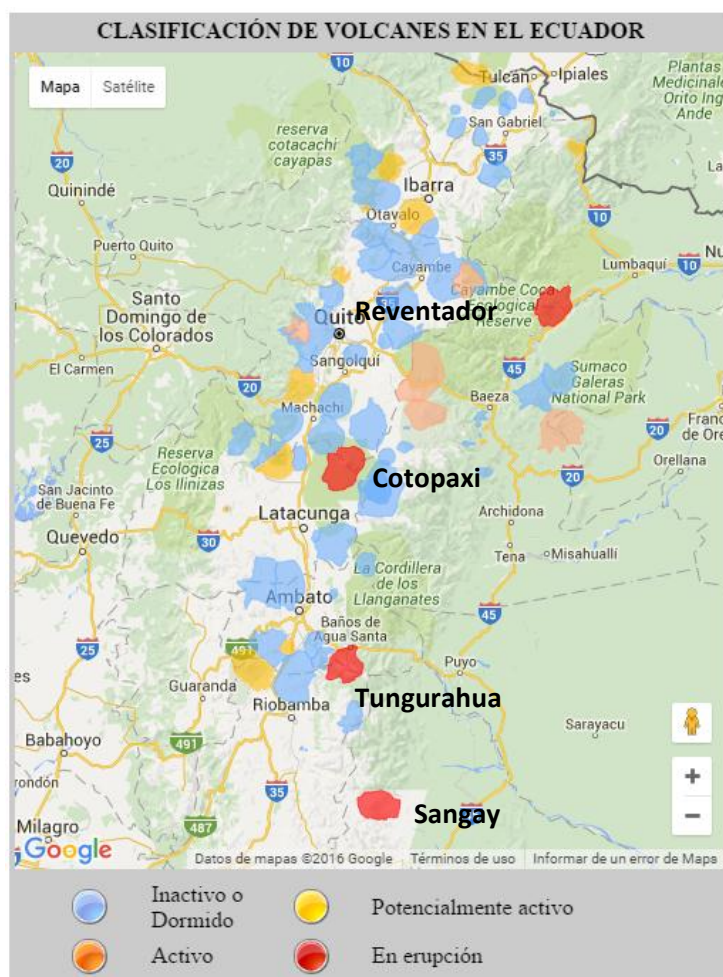


Figura 0-1: Clasificación de volcanes en el Ecuador. (Instituto Geofísico, 2016).



2.1.3 Estabilización de Suelos

La estabilización de suelos se emplea para mejorar las características de los materiales granulares. La estabilización se puede aplicar con diversas técnicas, como por ejemplo (Montejo Fonseca, 2002):

- Estabilización mecánica
- Estabilización por drenaje
- Estabilización por medios eléctricos
- Estabilización por empleo de calor
- Estabilización química

La estabilización aplicable en el presente estudio es la mecánica, por lo que a continuación se expondrá una breve descripción de la misma.

La estabilización mecánica se pueda aplicar utilizando la compactación o por medio de mezcla de materiales granulares. Para las mezclas de materiales granulares el requisito fundamental para elevar las propiedades es tener en cuenta que para suelos finos hay que tener en cuenta su plasticidad y para los suelos gruesos su granulometría. (Montejo Fonseca, 2002).

Para el proceso de construcción, se debe tener especial cuidado en colocar las mezclas en las proporciones calculadas, con el fin de lograr la gradación ideal. Estos materiales se mezclan en seco, posteriormente se les adiciona agua y se compacta. (Montejo Fonseca, 2002).

2.1.1 Estudios de adición de materiales pétreos para estabilización de suelos

Existen algunas publicaciones a nivel nacional e internacional que buscan mejorar las características de los suelos adicionando diferentes elementos y materiales que permitan alcanzar este objetivo. A continuación, se presenta una breve descripción de estudios que resultan de interés especial para la presente investigación, al no existir amplia investigación con puzolana específicamente, se ha revisado bibliografía con materiales de origen volcánico, cuyos métodos de estabilización son de utilidad.

Timothy T. Hensley, P.E. (2007), en su investigación “Subrasantes Estabilizadas con Puzolana”, plantea que la mala calidad de suelos de la subrasante puede resultar en un insuficiente soporte del pavimento, reduciendo su vida útil. Realizó pruebas en: grava, arena fina, limo arenoso, loess, loess/sedimento, sedimento, esquisto/aluvión en las que adicionó tres diferentes tipos de puzolana: cal hidratada, cenizas volantes y el polvo de horno de cemento (CKD). Cada tipo de suelo pasó por un proceso de Laboratorio, se recogieron, se transportaron, se secaron y se fraccionaron. Los aditivos se mezclaron en 10, 13, 15% con cada tipo de suelo. Concluyendo que para todas las mezclas se reducía el índice de plasticidad, por ejemplo, al utilizar las cenizas volantes los loess naturales que tenían un índice de plasticidad (IP) de 22%, éste se redujo a 6 cuando se adiciono 10% de cenizas, a un IP de 4 cuando se adicionó el 13%, y a NP (No Plástico) con el 15%. La densidad máxima seca del loess era de 98,5 libras/pie³ y el contenido de humedad óptimo de 20%. Cuando se mezcló con el 10 % de cenizas la densidad seca máxima aumentó a 101 libras/pie³ y el contenido de humedad óptimo disminuyó a 18%. En cuanto a la resistencia a la compresión no confinada, el suelo areno limoso mezclado con cenizas tuvo un incremento en la resistencia del 900% con respecto al suelo natural. Para los loess la adición de cenizas aumentó la resistencia en un 344% (Hensley, Jensen, & Berryman, 2007).

Rocío del Carmen Pérez (2012) buscó una solución para mejorar las características mecánicas de los suelos arcillosos, estabilizándolos con cenizas de carbón y cemento portland, los pavimentos de carreteras que se construyen sobre suelo de baja capacidad de soporte, presentan un elevado costo porque su diseño demanda mayores espesores. Luego su vida útil disminuye por problemas de hundimientos o asentamientos por lo que, estudió el efecto que produce la adición de cenizas de carbón (residuo que proviene de una planta



termoeléctrica) en un suelo arcilloso potenciando el conocimiento y su utilización en obras de pavimentación de carreteras. En el programa experimental, la autora realiza ensayos a la muestra en estado natural de la arcilla, adiciona la ceniza volante y cemento en diferentes proporciones, a fin de obtener mejores resultados y determinó entre otras cosas que: “las cenizas funcionan como aditivo inhibidor de las propiedades expansivas del material, pero estas requieren ser adicionadas en porcentajes excesivos, al menos en el caso de una arcilla expansiva, en promedio en un porcentaje mayor a 20%. Las arcillas en combinación con cenizas y cemento en un 3%, dieron buenos resultados mejorando la resistencia del suelo arcilloso desde 7.7% hasta 51% de CBR, al 100% de la densidad seca máxima del Proctor Modificado, obteniéndose así menores costos en su construcción. Los valores de espesores de pavimento se reducen conforme se incrementa el valor de CBR. La adición de ceniza en la muestra de arcilla disminuyó los efectos de expansión, disminuyendo la plasticidad y humedad de la arcilla” (Perez, 2012).

Víctor Trajano Naranjo (2011) dado que en las zonas altas de la provincia de Tungurahua se cuenta con un estrato de arena arcillosa que resulta buena para el cultivo, sin embargo, este tipo de suelo sumado a las pendientes pronunciadas, un deficiente diseño geométrico y las condiciones climáticas adversas impide el tránsito vehicular por las vías que se encuentran a nivel de subrasante dificultando sacar y abastecerse de productos o desplazarse por motivos de salud, por lo que investigó el efecto de la incorporación de arena, cemento, cal y toba volcánica para mejorar las propiedades del suelo de subrasante areno arcillosa de los caminos vecinales, tomó muestras del suelo in situ y mediante la realización de ensayos de mecánica de suelos referente a Límites Atterberg, granulometría, capacidad portante, ensayos de compresión no confinada entre otros determinó, que el CBR de la subrasante se incrementa del 7%, en condición de suelo natural, al 11%, con la adición del 20% de toba volcánica, y a 36%, con la adición del 100% de toba volcánica más el 10% de cemento, y el índice de plasticidad se reduce de 9.45, en la condición de suelo natural, a 5.7 con la adición del 10% de toba volcánica, a 4.97, con la adición del 20% y a 1.66 con el 100% (Trajano Naranjo, 2011).

Existen muchos estudios de mezclas de tierras y puzolanas que han dado resultado y mejorado la resistencia de los suelos. Los más relevantes son los citados anteriormente ya que con esas referencias se pudo llegar a la conclusión de emplear tres mezclas con 10, 20



y 30% respectivamente de material de la mina Araña Huaycu (puzolana), y combinar con el material de la mina La Virginia (mejoramiento) para su estudio.



CAPÍTULO III

GEOLOGÍA, PROCEDENCIA Y MÉTODOS

En este capítulo se conocerá la geología del sector, la litología de la mina La Virginia y de la mina Araña Huaycu con el fin de conocer la extensión de los materiales predominantes de la zona.

Se conocerá la procedencia de los materiales, dado que en la provincia de Azuay existen varias minas de mejoramiento y puzolanas, por la cercanía de se tomará dos minas, la mina La Virginia ubicada dentro del cantón Paute de donde proviene el mejoramiento y la mina Araña Huaycu dentro del cantón Guachapala de donde proviene la puzolana.

Los parámetros que se consideran más importantes son el Índice de Plasticidad, el hinchamiento y el valor del CBR según lo especificado por el MTOP. Las pruebas de laboratorio realizadas se efectuaron bajo las Normas ASTM.

Se procedió a tomar muestras de campo de las dos minas, con las que se realiza la caracterización tanto del mejoramiento como de la puzolana en su estado natural y de las tres mezclas planteadas adicionando el 10, 20 y 30% en peso de puzolana.

Se prepararon las muestras para realizar: el análisis granulométrico donde se determina cuantitativamente la proporción de partículas del suelo de acuerdo a su tamaño, la humedad natural donde se determina el contenido de humedad de los materiales en el momento del muestreo, los límites Atterberg con los que se determina el límite líquido y el límite plástico y con su diferencia el índice de plasticidad, la clasificación de suelos se realiza mediante el sistema de clasificación SUCS y AASHTO, el proctor modificado que determina la relación que existe entre el contenido de humedad y la densidad seca máxima de la muestra, el CBR (California Bearing Ratio) que mide el esfuerzo cortante del suelo tomando en cuenta condiciones de densidad y humedad determinadas, y se determina el hinchamiento.

3.1 GEOLOGÍA DEL SECTOR DE PROCEDENCIA DE LOS MATERIALES

Como se puede observar en la Figura 0-1, la mina La Virginia (mejoramiento) está ubicada dentro del Cantón Paute y la mina Araña Huaycu (puzolana) dentro del Cantón Guachapala. Los dos cantones se ubican al norte de la Provincia del Azuay.

Por la cercanía de las dos minas, la Geología se estudia en forma global a fin de conocer el tipo y extensión de los materiales predominantes en la zona. A continuación, en la Figura 0-1, se muestra el mapa litológico de la zona de estudio, del cual se determinan las principales formaciones geológicas del área; mediante cartas procedentes del Instituto geográfico Militar, también se identifican la edad del sector.

3.1.1 Litología

Respecto a la litología se analiza las rocas en cuanto a su estructura, sus características físicas y su composición.

3.1.1.1 Litología de la Mina La Virginia

Al realizar el análisis de la Figura 0-1 se observa que la mina La Virginia se ubica en una zona de depósitos coluviales que colindan con zonas de depósitos aluviales que se detallan a continuación.

Depósitos Coluviales:

Muchos de los valles tienen sus laderas cubiertas con una capa de material coluvial, proveniente de rocas que se han transportado llevadas por la gravedad. Este material quizás se originó como talus durante el Pleistoceno tardío, pero su formación continua hasta ahora (Instituto Geográfico Militar, 1974).

Depósitos Aluviales:

Estos materiales son transportados a través del agua. Se encuentran en valles amplios, y consiste de estratos arcillosos que yacen por encima de depósitos de roca gruesa. (Instituto Geográfico Militar, 1974).

3.1.1.2 Litología de la Mina Araña Huaycu

La mina de Araña Huaycu (Puzolana) se encuentra en una zona de los Volcánicos de Llacao, rodeada de meta – volcánicos de San Francisco. La composición de los Volcánicos de Llacao se describe a continuación:

Volcánicos de Llacao:

Los Volcánicos Llacao consisten predominantemente de aglomerados de una matriz de vidrio blanco desvitrificado, pero también se encuentran tobas blancas y estratificadas que son notoriamente inestables (Instituto Geográfico Militar, 1974).

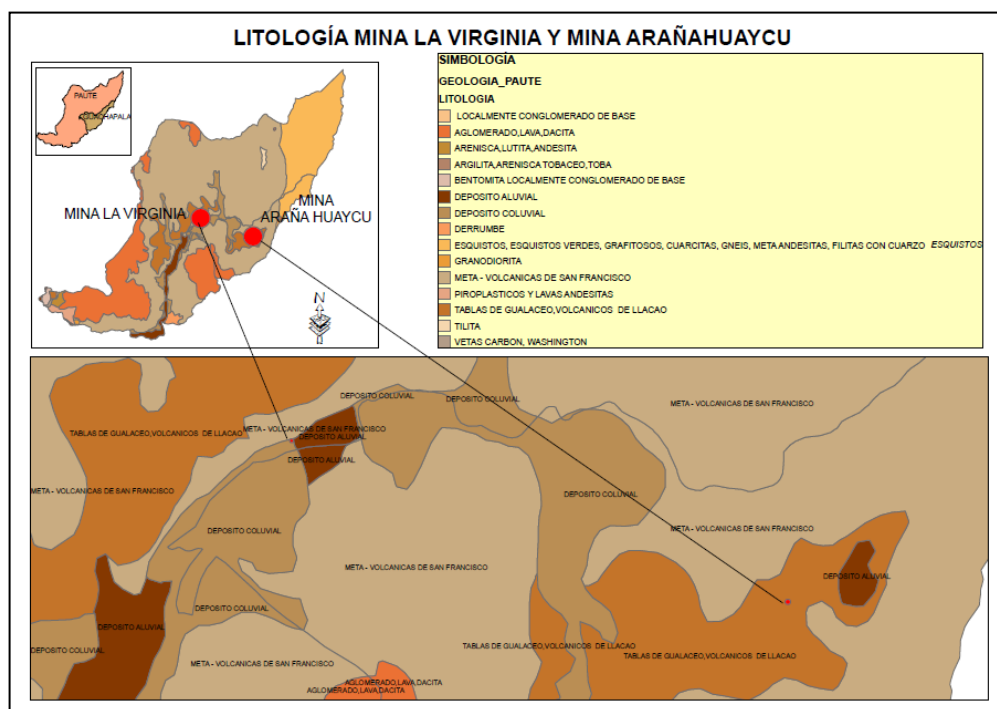


Figura 0-1: Mapa Litológico Zona mina La Virginia y mina Araña Huaycu.



3.1.1.3 Formaciones de la Mina Araña Huaycu y de la Mina La Virginia

La Figura 0-2 muestra el mapa de formaciones de la zona de estudio, observándose que la mina La Virginia y la mina Araña Huaycu pertenecen a la Formación Unidad de Paute que se detalla a continuación:

Serie Paute:

Constituyen las rocas más competentes y comprende una serie de esquistos verdes, filitas negras y meta-volcánicos. Esta serie es divisible en la parte inferior (Esquistos de El Pan) y en la parte superior (Meta – volcánicos de San Francisco). Cada parte contiene unidades litológicas similares: los esquistos gráficos y cuarcitas parecen estar limitados en la parte inferior. El metamorfismo es mayormente del facie de esquistos verdes. Existe hasta la actualidad la estratificación original, pero las lineaciones están desarrolladas en algunas de las superficies esquistosas. En la parte oriental hay evidencia de una serie de cuarcitas estructuralmente más complejas. Dataciones radiométricas de 86 – 90Ma (cretáceo Superior (Senoniano)) han sido obtenidas para el metamorfismo de las filitas dentro de los meta – volcánicos de San Francisco (Instituto Geográfico Militar, 1974).

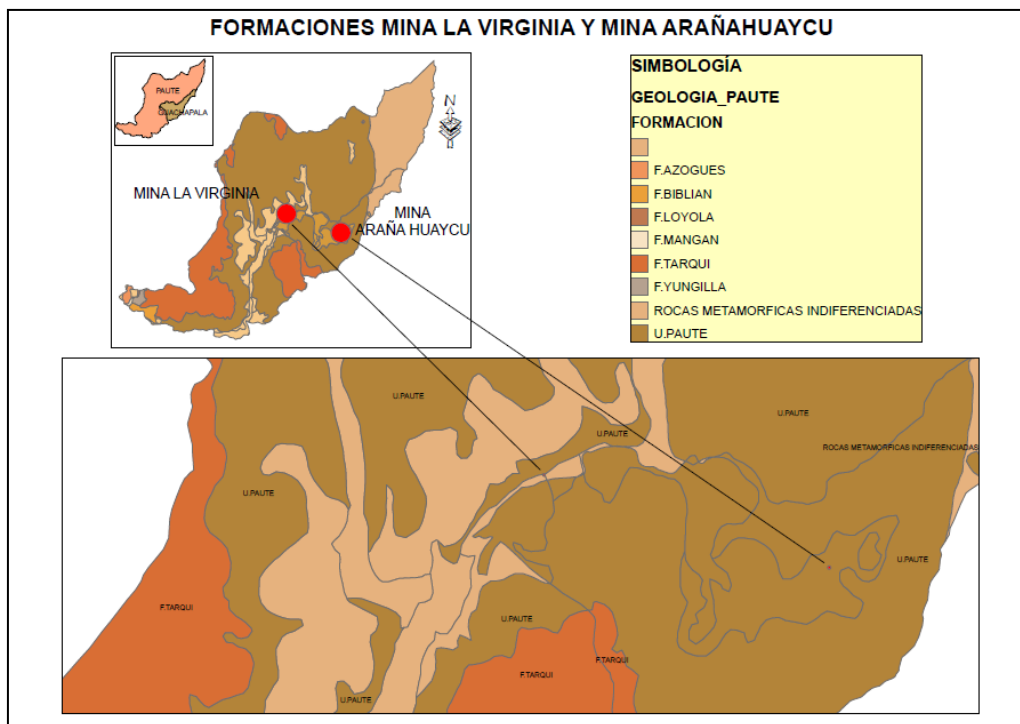


Figura 0-2: Mapa de Formaciones Geológicas Zona mina La Virginia y mina Araña Huaycu.

3.1.1.4 Edades Geológicas de la Mina Araña Huaycu y de la Mina La Virginia

El mapa que se presenta en la Figura 0-3, corresponde al mapa de Edades Geológicas de la zona de estudio y se observa que tanto la mina de La Virginia, como la de mina de Araña Huaycu pertenecen a la era Cuaternaria.

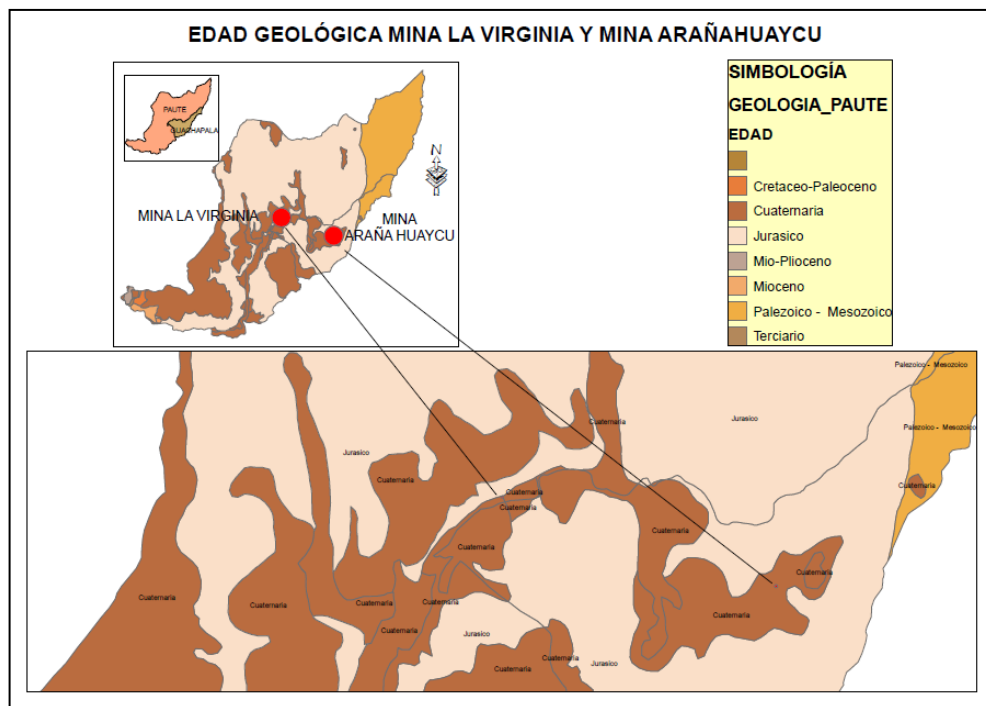


Figura 0-3: Mapa de Edades Geológicas Zona mina La Virginia y mina Araña Huaycu.

Los mapas presentados en la Figura 0-1, Figura 0-2 y Figura 0-3 se elaboraron con la base de datos del programa ArcGIS del Instituto Geográfico Militar.

3.2 PROCEDENCIA DE LOS MATERIALES

3.2.1 Procedencia de material de Mina la Virginia

El material para mejoramiento proveniente de la mina La Virginia, es utilizado por la Prefectura del Azuay en algunas vías de la región. La mina La Virginia se encuentra ubicada a 40 km de la ciudad de Cuenca, en la parroquia Chicti del Cantón Páute, Provincia del Azuay. Al haber sido concesionada esta mina al Gobierno Provincial del Azuay, el material de mejoramiento que se extrae de aquí ha sido utilizado en gran medida para mantenimiento vial de la zona y de otros puntos de la provincia.

3.2.2 Procedencia de la puzolana

La puzolana empleada para este estudio de estabilización, es el material proveniente de la mina Araña Huaycu, cuyo origen es volcánico, esta concesionada al GAD Municipal de Guachapala y es utilizado para el mantenimiento de vías no asfaltadas de ese cantón.

Este material se empleó en tres porcentajes 10, 20 y 30% en peso con respecto al material de mejoramiento. Las mezclas resultantes se ensayaron, utilizando los procedimientos antes mencionados, para determinar el porcentaje óptimo de la puzolana.

Las propiedades de este material de mejoramiento, de la puzolana y de las diferentes mezclas de estos materiales, se determinaron de acuerdo con las normas ASTM, enumeradas a continuación:

Tabla 0-1: Normas ASTM para ensayos.

PRUEBA	ASTM
Preparación de muestras	D421
Granulometría	D422
Humedad Natural	D2216
Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad	D4318
Densidad seca máxima y humedad óptima (Proctor modificado)	D1557-91
Hinchamiento, densidad seca antes y después de la inmersión, penetración y valor relativo de soporte CBR	D 1883-94

3.3 ENSAYOS DE LABORATORIO

3.3.1 Preparación de muestras

Las muestras de material granular fueron recogidas en cada una de las minas y llevadas al laboratorio, se procedió al secado al ambiente de las mismas y a continuación se realizaron las granulometrías (gruesa y fina) de cada material. Luego con el material pasante el tamiz N° 40 se determinaron los Límites de Atterberg. Estos procedimientos también se aplicaron a las mezclas de materiales en las que se adicionó al material de la mina La Virginia el 10, 20 y 30% en peso de material de la mina Araña Huaycu.



3.3.2 Ensayos Aplicados

Los ensayos aplicados para conocer las características físicas y mecánicas de los materiales, se enumeran a continuación:

- Análisis Granulométrico (ASTM D422)
- Humedad Natural (ASTM D2216)
- Límites de Atterberg (ASTM D4318)
- Clasificación de Suelos método SUCS (ASTM D2487)
- Clasificación de Suelos método AASHTO (ASTM D3282)
- Proctor Modificado (ASTM D1557-91)
- CBR (California Bearing Ratio) (ASTM D 1883-94)

El análisis granulométrico se lo realiza de acuerdo a los procedimientos que se indican en la norma ASTM D422, donde se determina cuantitativamente la proporción de partículas de suelo de acuerdo a su tamaño.

Se determinan los porcentajes de Grava, Arena y Finos, para una muestra de aproximadamente 10,000 g, la misma que mediante tamizado permite conocer los pesos retenidos en las mallas de tamaño 3", 2½", 2", 1½", 1", ¾", ½", ⅜", N°4, y a su vez conocer el porcentaje de material retenido en cada una de ellas, a través de estos porcentajes se determina la cantidad de grava que tiene la muestra; de igual manera se procede tomando una muestra de 500 g y se determina el porcentaje de material retenido en las mallas N°10, N°40, N°200, con lo cual se conoce la cantidad de arena y finos que posee la muestra.

Para la Humedad Natural, de acuerdo a la norma ASTM D 2216, se determina el contenido de humedad de la muestra, esto se realiza a través de medir la masa del suelo en su estado natural y después de un secado en horno a 110°+/- 5°, donde el peso que se ha perdido es considerado el peso del agua, con estas medidas y aplicando la relación que se presenta a continuación es posible conocer el contenido de humedad expresado en porcentaje.



$$\omega = \frac{w_1 - w_2}{w_2 - w_T} * 100 \quad (1)$$

Donde,

ω es contenido de Humedad (%)

w_1 es el peso del suelo húmedo más el recipiente en gramos

w_2 es el peso del suelo seco más el recipiente en gramos

w_T es el peso del recipiente.

Los límites que propone Atterberg hacen referencia a la determinación de 5 límites, dos de los cuales, límite líquido y límite plástico nos permiten determinar el índice plástico.

Para la determinación del Límite Líquido se siguen los procedimientos de la norma ASTM D 4318, donde una muestra de material que ha sido retenido en el tamiz 40 es llevada al aparato mecánico, conocido como Cuchara de Casagrande, a este material humedecido se le realiza una ranura patrón y se la deja caer 25 veces, se requieren al menos tres datos para realizar la relación y obtener el contenido de agua definido entre estados líquido y plástico y expresada en porcentaje.

La determinación del Límite Plástico se lo hace en base a la norma ASTM D 4318, donde el material es enrollado en cilindros de 3.2 mm repetidamente, hasta que el mismo empieza a desmoronarse y no puede recuperar su estado, este ensayo proporciona un contenido de humedad expresado en porcentaje.

El Índice de Plasticidad se determina mediante la diferencia entre Límite Líquido y Límite Plástico, este indicador con un porcentaje bajo muestra que el suelo es sensible a la humedad.

La Clasificación de Suelos por el método SUCS está basada en la Norma ASTM D 2487, clasifica a los suelos en 4 categorías de acuerdo a datos otorgados por la granulometría y límites de Atterberg proporcionados, de acuerdo a esta clasificación se conocen si el suelo es grava, arena, limo o arcillas, y también se clasifica de acuerdo a su graduación y plasticidad.

La Clasificación de Suelos por el método AASHTO está basada en la Norma ASTM D 3282, este sistema clasifica a los suelos en tres categorías principales, materiales granulares, materiales limo-arcillosos y suelos orgánicos, con un rango de tamaño de partículas para cantos rodados, gravas, arcillas y limos, y mediante el índice de plasticidad se establece si son limosos y arcillosos.

Conociendo las propiedades de los suelos es posible realizar su clasificación, entre los métodos mencionados, está el método del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos conocido por sus siglas SUCS y el método que propone la AASHTO, expuestos ambos a continuación en la Tabla 3 2 y la Tabla 3 3.

Tabla 0-2: Sistema de clasificación SUCS

GRUESOS (< 50 % pasa 0.08 mm)						
Tipo de Suelo	Símbolo	% pasa 5 mm.***	% pasa 0.08 mm.	CU	CC	** IP
Gravas	GW	< 50	< 5	> 4	1 a 3	
	GP			≤ 6	<16>3	
	GM		> 12			< 0.73 (wl-20) ó <4
	GC					> 0.73 (wl-20) ó >7
Arenas	SW	> 50	< 5	> 6	1 a 3	
	SP			≤ 6	<16>3	
	SM		> 12			< 0.73 (wl-20) ó <4
	SC					> 0.73 (wl-20) y >7
* Entre 5 y 12% usar símbolo doble como GW-GC, GP-GM,SW-SM, SP-SC. *** respecto a la fracción retenida en el tamiz 0.080 mm						
** Si IP≥ 0.73 (wl-20) ó si IP entre 4 y 7 e IP>0.73 (wl-20), usar símbolo doble: GM-GC, SM-SC.						
En casos dudosos favorecer clasificación menos plástica Ej: GW-GM en vez de GW-GC.						
$C_u = (D_{60}) / (D_{10})$				$C_c = (D_{30}^2) / (D_{60} \cdot D_{10})$		

Fuente: (Duque E., 2002)

Tabla 0-3: Sistema de clasificación AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% ó menos pasa el tamiz N.200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz N. 200)			
Clasificación por grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, porcentaje que pasa											
2.00 mm (N. 10)	50 max.	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
0.425 mm (N. 40)	30 max.	50 max.	51 min.	----	----	----	----	----	----	----	----
0.075 mm (N. 200)	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características fracción que pasa el tamiz N. 40											
Límite Líquido	----	----	----	40 max.	41 max.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Índice de plasticidad	6 max.		N.P.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Material constituyente más común	Fragmento roca grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas arcillosas y limosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Comportamiento general como subrasante	Excelente a bueno							Regular a malo			

Fuente: (Montejo Fonseca, 2002)

El Ensayo para Proctor Modificado está basado en la Norma ASTM D 1557, con este ensayo se determina la relación que existe entre el contenido de humedad y el peso específico seco de la muestra. El procedimiento consiste básicamente en compactar 5 capas de material en un molde estandarizado y aplicar 56 golpes con un pisón, este procedimiento debe repetirse lo suficiente para establecer una relación, estos datos son graficados y representados en una Curva de Compactación, de donde se extraen 2 datos, el contenido óptimo de agua y el máximo peso específico seco.

El Ensayo para CBR (California Bearing Ratio), está basado en la Norma ASTM D1883; este ensayo mide el esfuerzo cortante del suelo, tomando en cuenta condiciones de densidad y humedad determinadas, mediante muestras de suelo de tres probetas confeccionadas con distintas energías de compactación (56, 25 y 10 golpes). Se toman las medidas de cada probeta y se procede a someter a inmersión por un periodo mínimo de 96 horas, al extraer las muestras se realiza nuevamente una medición, inmediatamente se procede a realizar el proceso de penetración donde se realizan las lecturas correspondientes y se procede a graficar la curva esfuerzo – penetración para cada probeta. (Bedoya, 2005).

Los resultados de los ensayos de laboratorio se presentan en el Anexo 01.



CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta y se analiza los resultados de los ensayos de laboratorio tanto de caracterización física que abarca el análisis granulométrico, los límites Atterberg, la humedad natural y la clasificación de suelos, como de caracterización mecánica que comprende Proctor modificado y CBR (California Bearing Ratio), del material de mejoramiento proveniente de la mina La Virginia (MV), de la puzolana proveniente de la mina Araña Huaycu (PA) y de las mezclas secas MV90/PA10 (90% mejoramiento y 10% puzolana), MV80/PA20 (80% mejoramiento y 20% puzolana) y MV70/PA30 (70% mejoramiento y 30% puzolana).

4.1 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN FÍSICA

4.1.1 Análisis granulométrico

Como se indicó en el capítulo anterior, el análisis granulométrico se realizó bajo los lineamientos de la Norma ASTM D422. Se inicia con los materiales principales en su estado natural (mejoramiento de la mina La Virginia y puzolana de la mina Araña Huaycu).

En la Figura 0-1 se presenta la granulometría de los materiales: mejoramiento proveniente de la mina La Virginia (MV), de la puzolana proveniente de la mina Araña Huaycu (PA) y de las mezclas secas MV90/PA10, MV80/PA2 y MV70/PA30.

Tabla 0-1: Granulometría de los materiales estudiados (mejoramiento, puzolana, mezcla 90-10, mezcla 80-20, mezcla 70-30 y especificación)

TAMIZ	% PASA					
	MEJORAMIENTO	PUZOLANA	MEZCLA 90-10	MEZCLA 80-20	MEZCLA 70-30	ESPECIFICACIÓN NEVI
4"	100,00		100,00	100,00	100,00	100,00
3"	98,10		100,00	100,00	100,00	
2 ½"	94,97		92,52	94,16	94,67	
2"	86,48		85,03	88,41	92,79	
1 ½"	69,28		79,41	82,29	90,85	
1"	49,40		60,48	68,79	73,95	
¾"	40,81		52,08	62,38	64,08	
½"	27,16		36,72	48,80	51,60	
⅜"	21,84		30,16	41,09	45,69	
Nº4	13,37	100,00	18,33	26,99	31,68	
Nº10	9,69	78,20	12,68	19,29	25,03	
Nº40	6,27	49,00	8,58	11,18	16,13	
Nº50		41,00				
Nº100		27,80				
Nº200	3,36	18,60	3,98	5,82	8,22	≤ 20,00

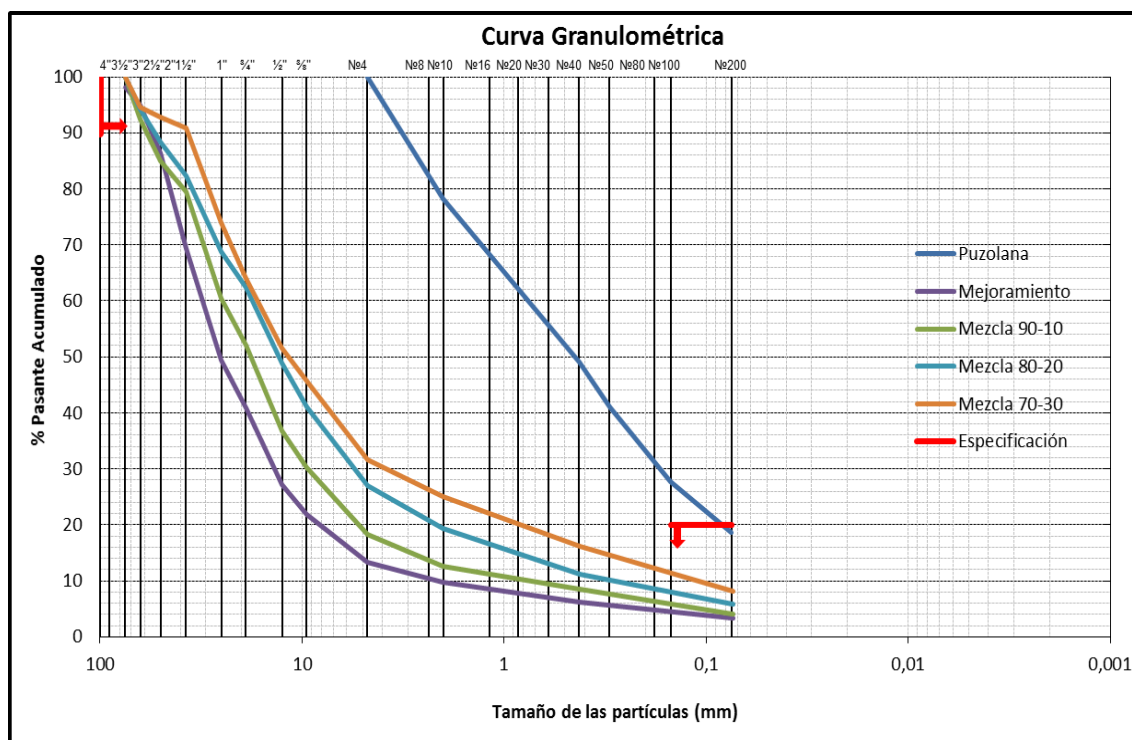


Figura 0-1: Curvas granulométricas de los materiales estudiados y las mezclas.

Como se observa en la Figura 0-1 el mejoramiento proveniente de la mina La Virginia (MV), de la puzolana proveniente de la mina Araña Huaycu (PA) y de las mezclas MV90/PA10, MV80/PA2 y MV70/PA30 cumplen con las especificaciones en cuanto a granulometría, ya que el 100% del material pasa el por el tamiz de cuatro pulgadas (100 mm) con abertura cuadrada y ninguna alcanza el 20 por ciento del tamiz N° 200 (0,075 mm).

Se observa también que la puzolana es un material netamente fino, debido a que el 100% de sus partículas pasa el tamiz N° 4.

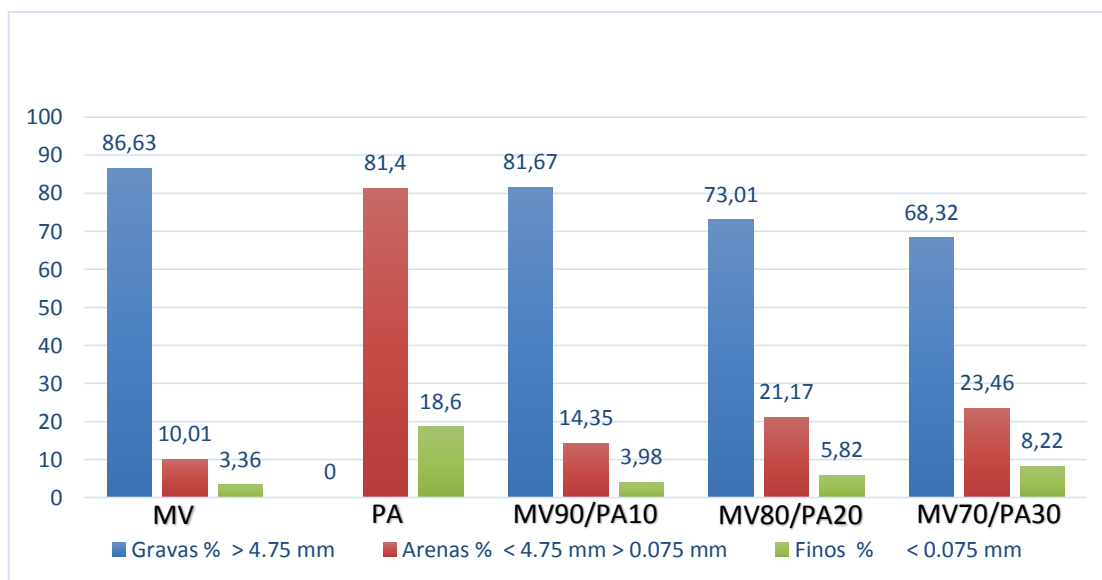
Al aumentar la puzolana en 10, 20 y 30 % al mejoramiento, se incrementa la cantidad de finos, notándose que las curvas van a la derecha con el incremento de la puzolana.

El porcentaje del material de mejoramiento pasante el tamiz N° 200 es de 3.36, incrementando a 8.22% al mezclar con el 30% de puzolana, lo que representa menos del 50% del límite permitido.

Con el análisis granulométrico también se determina la cantidad de grava, arena y finos que posee el mejoramiento La Virginia, puzolana Araña Huaycu y de las mezclas MV90/PA10, MV80/PA20 y MV70/PA30. En la Tabla 0-2 se presentan los resultados de cada una de ellas, según el método SUCS.

Tabla 0-2: Cantidad de grava, arena y finos de los materiales y las mezclas.

Material/Mezcla	Granulometría		
	Gravas % > 4.75 mm	Arenas % < 4.75 mm > 0.075 mm	Finos % < 0.075 mm
Mejoramiento La Virginia (MV)	86.63	10.01	3.36
Puzolana Araña Huaycu (PA)	0	81.40	18.60
MV90/PA10	81.67	14.35	3.98
MV80/PA20	73.01	21.17	5.82
MV70/PA30	68.32	23.46	8.22



Con los resultados presentados en la Tabla 0-2 se determina que mientras mayor es el porcentaje de puzolana utilizado disminuye el porcentaje de gravas de 86.63 al 68.32 %, se incrementa el porcentaje de arenas de 10.01 a 23.46 % y de finos se incrementan de 3.36 a 8.22%, puesto que la puzolana como se observa en la figura carece de gravas y corresponde a un material pasante el tamiz # 4 (4.75 mm).

Con los resultados obtenidos se estima que no es recomendable que el material de mejoramiento tenga un porcentaje de gravas demasiado bajo ya que la densidad seca máxima puede bajar a valores indeseados.

4.1.2 Límites Atterberg y humedad natural

Se determina la humedad natural en la puzolana de la mina Araña Huaycu y el mejoramiento de la mina la Virginia en su estado natural, según la norma ASTM D2216, y los Límites Atterberg (Límite Líquido y Límite Plástico), en base a la norma ASTM D4318.

De los ensayos del mejoramiento de la mina La Virginia y de la puzolana de la mina Araña Huaycu se extraen los resultados de la humedad natural de los materiales que se presentan a continuación, en la Tabla 0-3.

Tabla 0-3: Humedad natural.

Material/Mezcla	Humedad Natural %
Mejoramiento La Virginia (MV)	12,48
Puzolana Araña Huaycu (PA)	10,02

De la Tabla 0-3 se extrae que la humedad natural de la puzolana es 10.02%, menor que la del material de mejoramiento que es 12.48%.

Se recalca que la toma de muestras para la determinación de la humedad natural de cada material se hizo en condiciones de clima habituales de la zona.

Los resultados de los límites Atterberg extraídos de los resultados de los ensayos de laboratorio se presentan en la Figura 0-2.

Material/Mezcla	Límites de Atterberg		
	Límite Líquido %	Límite Plástico %	Índice de Plasticidad %
Mejoramiento La Virginia (MV)	39.98	23.61	16.37
Puzolana Araña Huaycu (PA)	NP	NP	NP
MV90/PA10	32.62	21.09	11.53
MV80/PA20	29.84	21.20	8.64
MV70/PA30	29.18	20.81	8.37

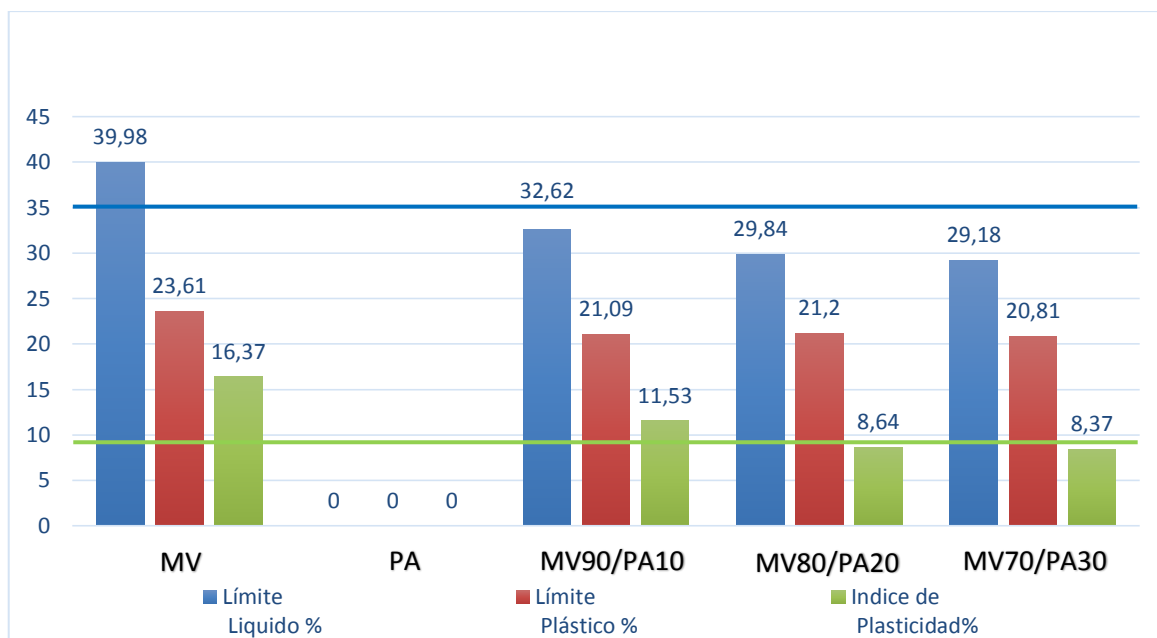


Figura 0-2: Variación de los límites Atterberg al añadir puzolana al material de mejoramiento de la mina La Virginia.

De la Figura 0-2 se desprende que el Límite líquido del material de mejoramiento es superior al aceptable, según las especificaciones el valor máximo es de 35% y el determinado es 39.98 %.

Se determina también, que el límite líquido del material de mejoramiento baja desde 39.98 % hasta 29.18 % al agregar el 30% de puzolana.

En la Figura 4-3 se hace una comparación de la variación del límite líquido del material de mejoramiento y las mezclas:

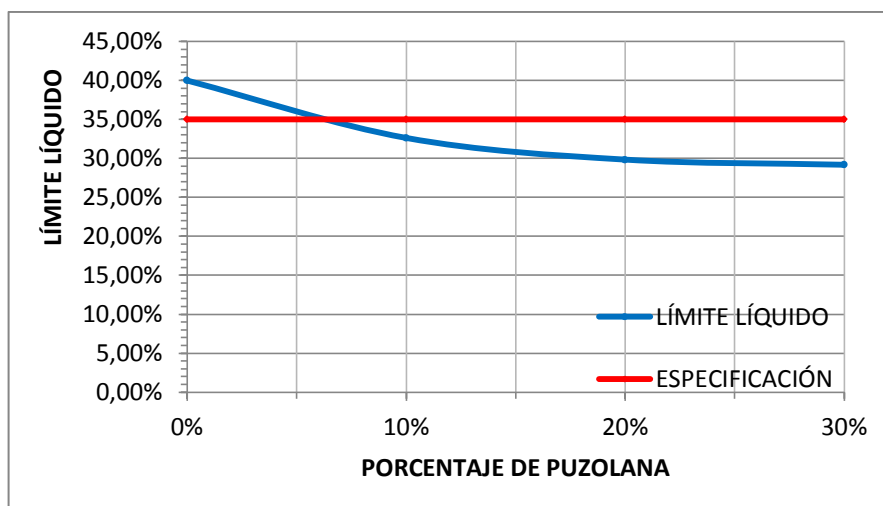


Figura 0-3: Variación del índice de plasticidad al añadir puzolana al material de mejoramiento de la mina La Virginia.

Además, de la figura 4-2 se desprende que el límite plástico disminuye de 23.61% a 20.81%.

Finalmente, en la Figura 0-2 se puede observar que el índice de plasticidad del mejoramiento es de 16.37% por lo que no cumple con las especificaciones; para uso como material de mejoramiento, debe ser menor a 9%.

El índice de plasticidad del material de mejoramiento disminuye de 16.37% a 11.53% incorporando el 10% de puzolana, agregando el 20% de puzolana se obtiene una reducción a 8.64 % y finalmente con la adición del 30% de puzolana se redujo a 8.37 %. La puzolana no presenta plasticidad por lo que es adecuado para estabilizar el material de mejoramiento, en la Figura 4-3 se hace una comparación de los resultados del material de mejoramiento y de las mezclas.

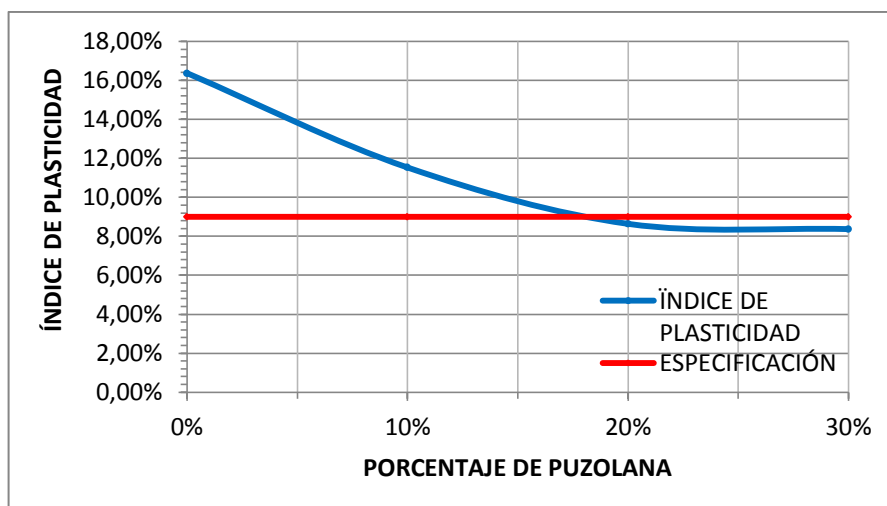


Figura 0-4: Variación del índice de plasticidad al añadir puzolana al material de mejoramiento de la mina La Virginia.

4.1.3 Clasificación

En base a las granulometrías y los límites Atterberg de los materiales (mejoramiento de la mina La Virginia, puzolana de la mina Araña Huaycu y las mezclas MV90/PA10, MV80/PA2 y MV70/PA30 se clasifica cada uno de los suelos, según la Tabla 3 2 y la Tabla 3 3, de la siguiente manera:

Sistema de clasificación SUCS: de la granulometría del material se extrae el % que pasa el tamiz N°4 y el porcentaje que pasa tamiz N° 200, luego se calcula el diámetro de las partículas que cumple la condición: % pasa 60% = D60, 30%= D30 y 10%= D10 para determinar el coeficiente de uniformidad (CU) y el grado de curvatura (CC), además de los límites Atterberg encontrados se extrae el índice de plasticidad.

Sistema de clasificación AASHTO: de la granulometría del material se extrae el % que pasa los tamices N° 10, N° 40 y N° 200, además de los límites Atterberg encontrados se extrae el límite líquido y el índice de plasticidad.

En la Tabla 0-4 se presenta los resultados de la clasificación de suelos del material de mejoramiento, de la puzolana y de las mezclas MV90/PA10, MV80/PA2 y MV70/PA30, según la cual todas se consideran que su comportamiento general como subrasante es de excelente a bueno.

Tabla 0-4: Clasificación de los materiales.

Material	Clasificación SUCS		Clasificación AASHTO	
Mejoramiento La Virginia (MV)	GW	Grava bien graduada con bloques	A-2-6	Grava y Arena arcillosa o limosa
Puzolana Araña Huaycu (PA)	SM	Arena limosa	A-1-b	Fragmentos de roca, grava y arena
Mezcla MV90/PA10	GP	Grava mal graduada con arena	A-2-6	Grava y Arena arcillosa o limosa
Mezcla MV80/PA20	GP GC	Grava mal graduada con arcilla con arena	A-2-4	Grava y Arena arcillosa o limosa
Mezcla MV70/PA30	GP GC	Grava mal graduada con arcilla con arena	A-2-4	Grava y Arena arcillosa o limosa

4.2 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

4.2.1 CBR

Para determinar el CBR del suelo se inicia con la determinación de la densidad máxima seca y la humedad óptima a través del ensayo Proctor Modificado según la norma ASTM D1557. Con la humedad óptima que no supere ± 0.5 % se procede a conformar las muestras para el ensayo de penetración y siguiendo los procedimientos que indica la norma ASTM D1883, se determina el CBR de cada uno de los materiales: mejoramiento (mina La Virginia), puzolana (mina Araña Huaycu), mezcla MV90/PA10 (90% mejoramiento y 10% puzolana), mezcla MV80/PA20 (80% mejoramiento y 20% puzolana) y mezcla MV70/PA30 (70% mejoramiento y 30% puzolana).

4.2.1.1 CBR Puzolana (PA) mina Araña Huaycu

Siendo la puzolana el material con el que se propone estabilizar el material de mejoramiento de la mina La Virginia, únicamente se determina la densidad seca máxima.

De la Figura 0-5 se obtiene que la densidad seca máxima de la puzolana es de 1945 kg/m³ y la humedad óptima es de 11,80 %.

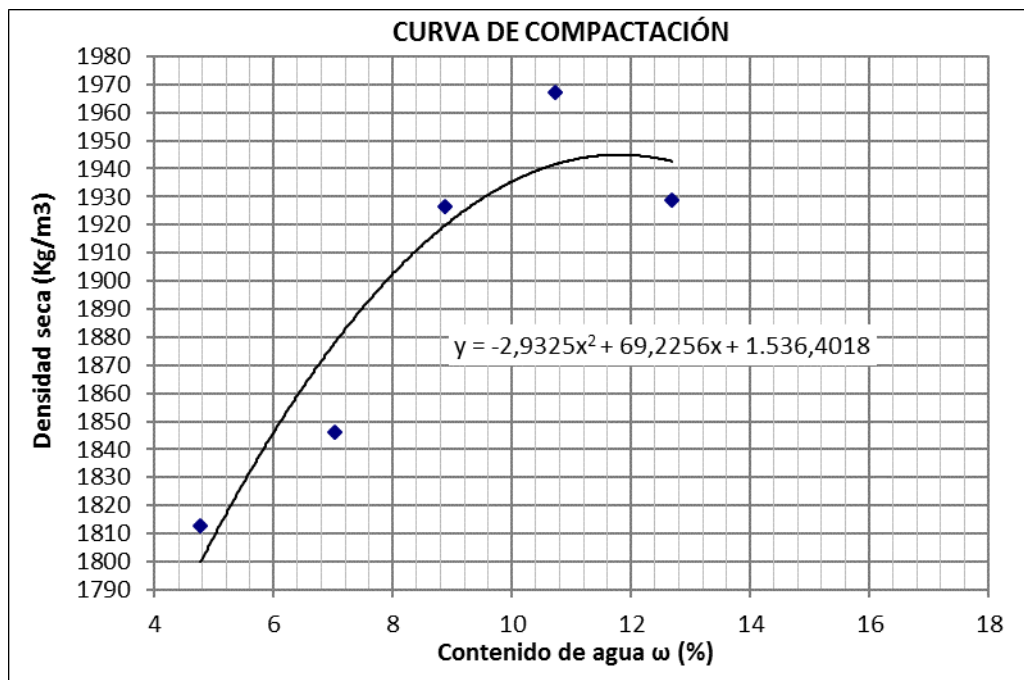


Figura 0-5: Densidad seca vs contenido de agua de la puzolana (PA) de la mina Araña Huaycu.

4.2.1.2 CBR Mejoramiento (MV) de la mina La Virginia

De la Figura 0-6 se obtiene que la densidad seca máxima del mejoramiento es de 2180 kg/m³ y la humedad óptima es de 11,02 %.

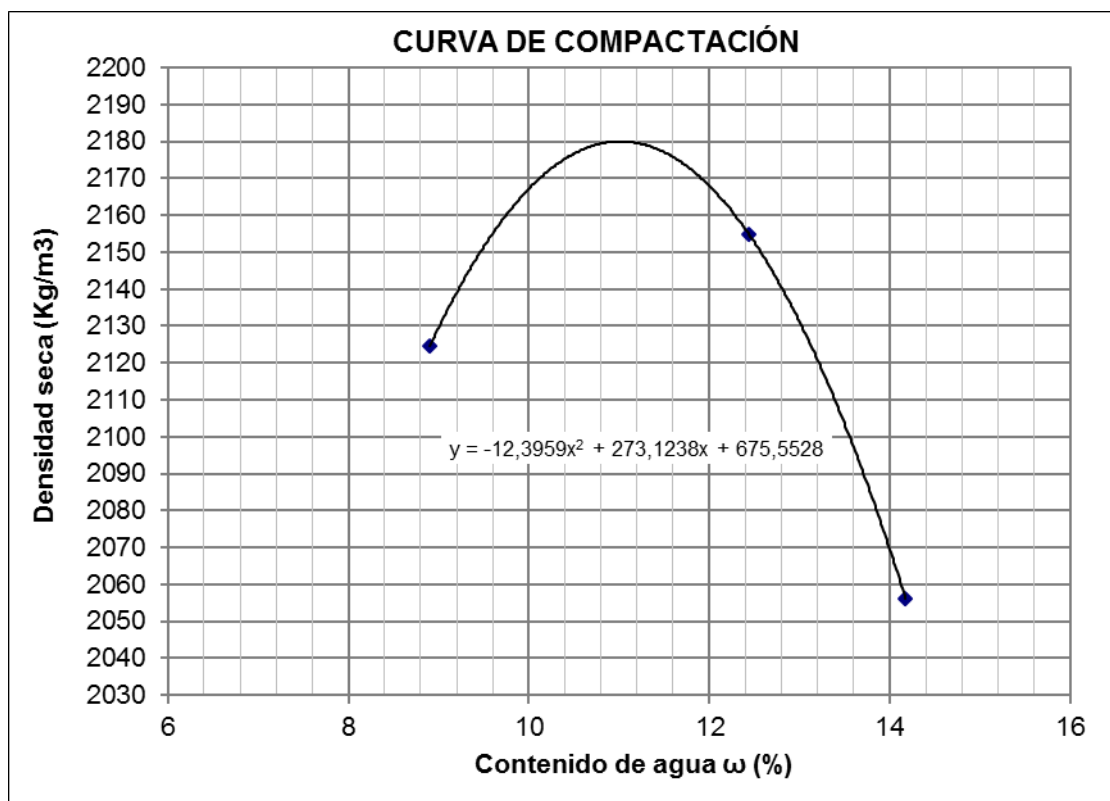


Figura 0-6: Densidad seca vs contenido de agua del mejoramiento (MV) de la mina La Virginia.

La concavidad de las curvas esfuerzo – penetración del mejoramiento (MV) de la mina La Virginia indica que estas deben ser corregidas. En la Figura 0-7 se presentan las correcciones de las curvas.

Nº Golpes por capa		56	25	10	
NUEVO	0	0,001	0,097	0,115	mm
		0,000	0,038	0,045	pulg.

VALORES CORREGIDOS

PENETRACIÓN		CARGA UNITARIA		
mm	(pulg)	56	25	10
2,54	0,1	31,45	28,55	22,36
5,08	0,2	52,54	49,45	28,72

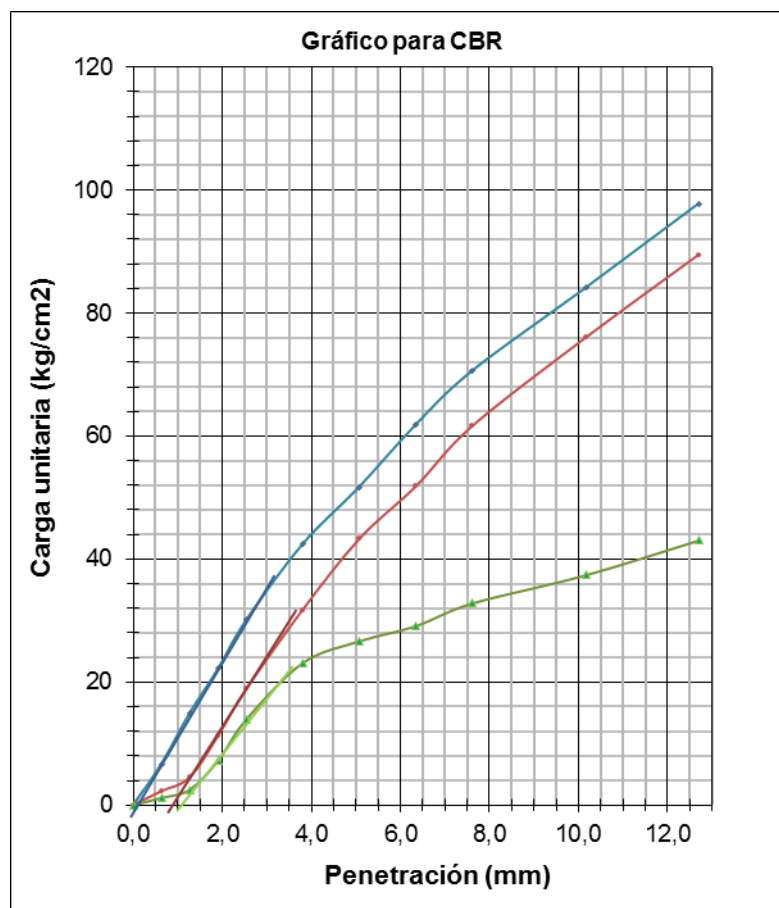


Figura 0-7: Curvas esfuerzo – penetración del mejoramiento (MV) de la mina La Virginia corregidas.

Con los nuevos datos obtenidos de las curvas corregidas se elabora la gráfica de densidad seca vs CBR que se presenta a continuación en la Figura 0-8.

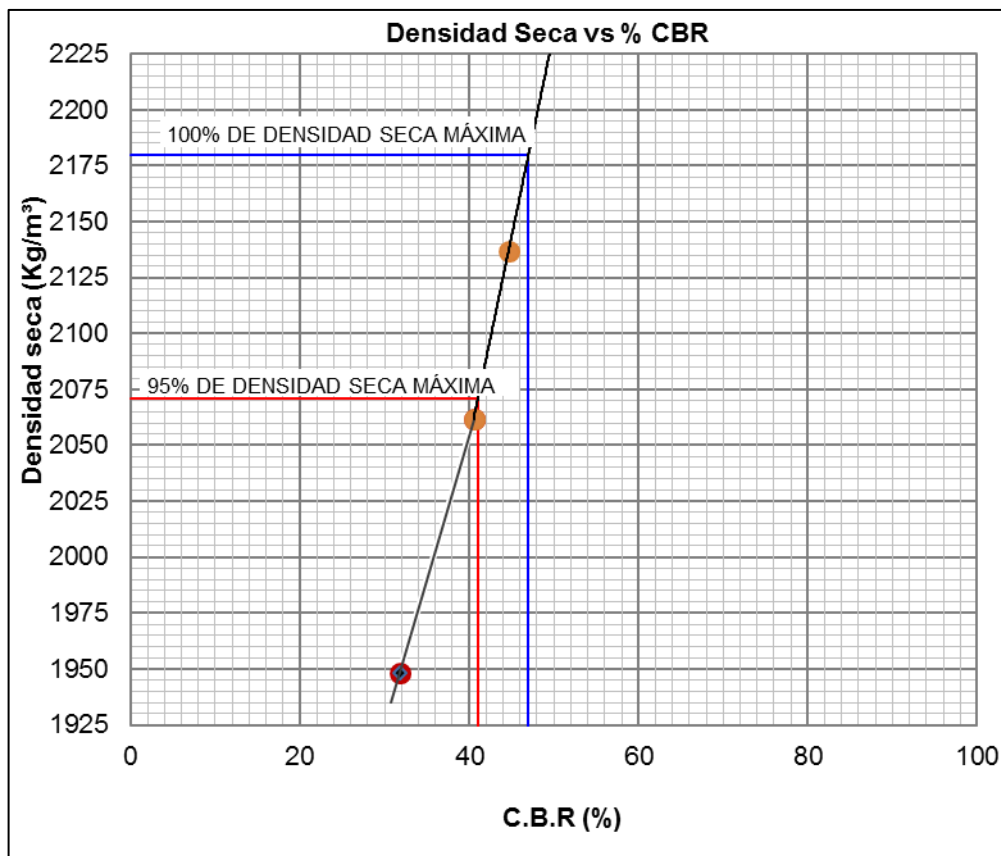


Figura 0-8: Determinación del CBR del mejoramiento (MV) de la mina La Virginia.

Como se puede observar en la Figura 0-8 el $CBR_{100\%}$ para la densidad seca máxima es de 47%. El CBR al 95% de la densidad seca máxima es de 41% > al 10% necesario para cumplir con las especificaciones de material de mejoramiento que se indica en el capítulo 2. Así también se determina que la expansión de este material es de 1.6%, siendo menor al 2% exigido en las normas NEVI.

Con la caracterización del material de mejoramiento de la mina La Virginia, se determina que debe ser estabilizado para su uso como tal ya que no cumple con el índice de plasticidad requerido.

A continuación, se presenta los resultados de las tres mezclas realizadas para la estabilización con puzolana de la mina Araña Huaycu.

4.2.1.3 Mezcla MV90/PA10 (90% mejoramiento y 10% puzolana)

De la Figura 0-9 se obtiene que la densidad seca máxima de la mezcla MV90/PA10 es de 2230 kg/m³ y la humedad óptima es de 9.52 %.

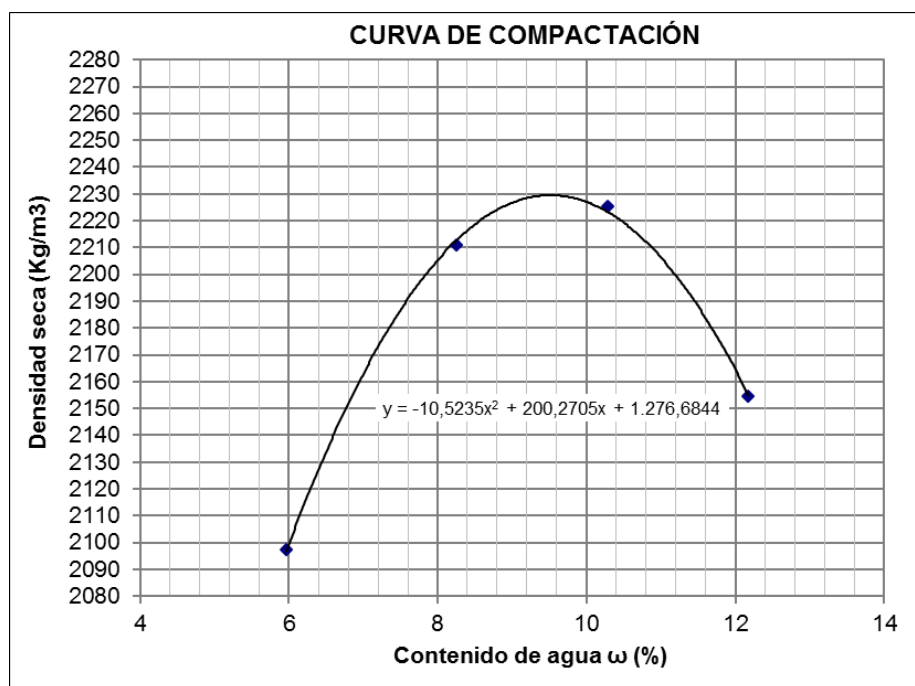


Figura 0-9: Densidad seca vs contenido de agua de la mezcla MV90/PA10.

La concavidad de las curvas esfuerzo – penetración de la mezcla MV90/PA10, indica que estas deben ser corregidas. En la Figura 0-10 se presentan las correcciones de las curvas.

Nº Golpes por capa		56	25	10	
NUEVO	0	0,036	0,023	0,076	mm
		0,014	0,009	0,030	pulg

VALORES CORREGIDOS

PENETRACIÓN		CARGA UNITARIA		
mm	(pulg)	56	25	10
2,54	0,1	40,37	28,05	22,22
5,08	0,2	65,11	41,22	35,26

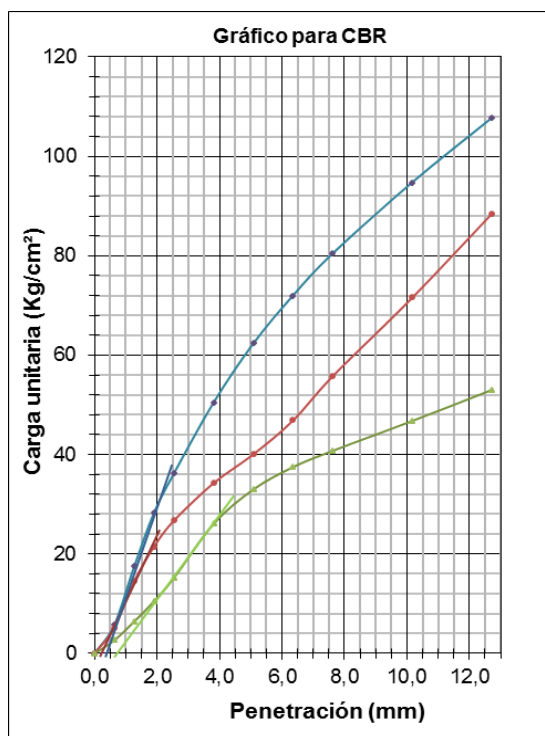


Figura 0-10: Curvas esfuerzo – penetración de la mezcla MV90/PA10 corregidas.

Con los nuevos datos obtenidos de las curvas corregidas se elabora la gráfica de densidad vs CBR que se presenta a continuación en la Figura 0-11.

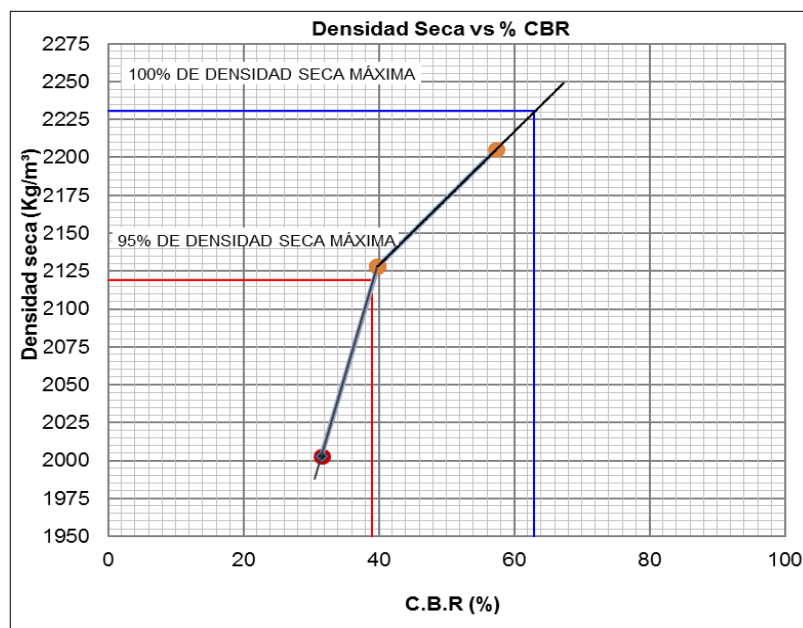


Figura 0-11: Determinación del CBR de la mezcla MV90/PA10.

Como se puede observar en la Figura 0-11 el $\text{CBR}_{100\%}$ para la densidad seca máxima es de $63\% > 47\%$ del material de mejoramiento. El CBR al 95% de la densidad seca máxima es de $39\% > 10\%$ necesario para cumplir con las especificaciones de material de mejoramiento. Además, se determina que la expansión de este material es de 1.0% , siendo menor al 1.6% obtenido del material de mejoramiento.

Con los resultados obtenidos de la mezcla MV90/PA10 se determina que, si bien el CBR y la expansión cumplen con las especificaciones, el porcentaje utilizado no es suficiente ya que el índice de plasticidad aún no disminuye al valor deseado.

4.2.1.4 Mezcla MV80/PA20 (80% mejoramiento y 20% puzolana)

De la Figura 0-12 presentada a continuación, se obtiene que la densidad seca máxima de la mezcla MV80/PA20 es 2222 kg/m^3 y la humedad óptima es de 9.26% .

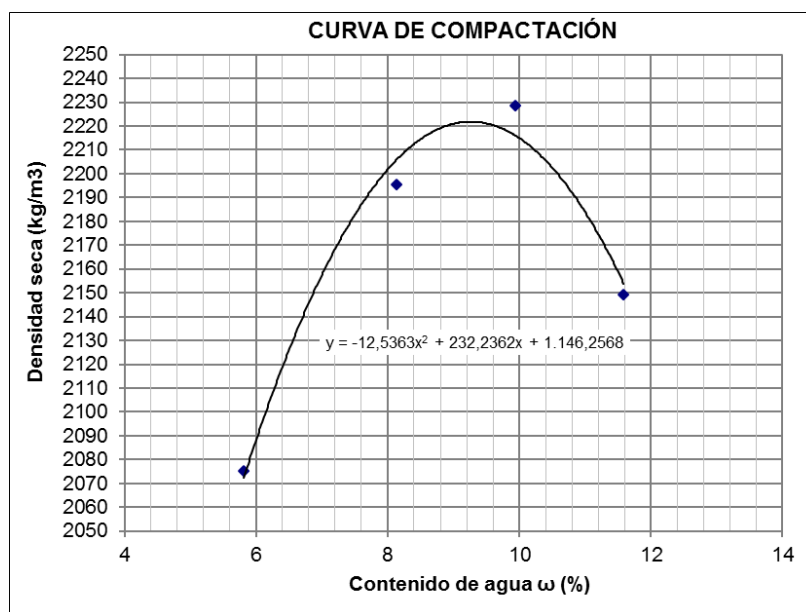


Figura 0-12: Densidad seca vs contenido de agua de la mezcla MV80/PA20.

La concavidad de las curvas esfuerzo – penetración de la mezcla MV80/PA20 indica que estas deben ser corregidas. En la Figura 0-13 se presentan las correcciones de las curvas.

Nº Golpes por capa		56	25	10	
NUEVO	0	0,000	0,018	0,051	mm
		0	0,007	0,02	pulg

VALORES CORREGIDOS

PENETRACIÓN		CARGA UNITARIA		
mm	(pulg)	56	25	10
2,54	0,1	41,66	28,93	20,59
5,08	0,2	88,30	59,64	34,26

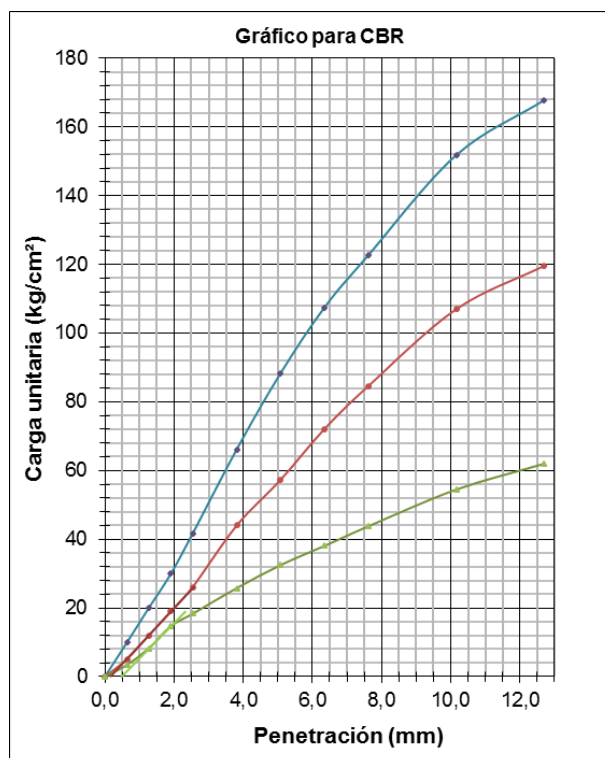


Figura 0-13: Curvas esfuerzo – penetración de la mezcla MV80/PA20 corregidas.

Con los nuevos datos obtenidos de las curvas corregidas se elabora la gráfica de densidad vs CBR que se presenta a continuación en la Figura 0-14.

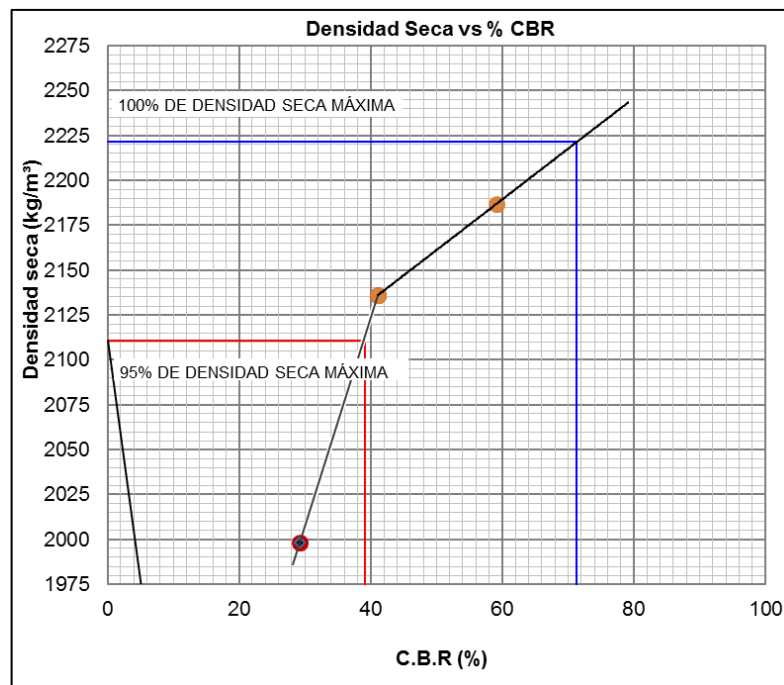


Figura 0-14: Determinación del CBR de la mezcla MV80/PA20.

Como se puede observar en la Figura 0-14 el $CBR_{100\%}$ para la densidad seca máxima es de 71.3% > 47% del material de mejoramiento. El CBR al 95% de la densidad seca máxima es de 39.2% > al 10% necesario para cumplir con las especificaciones de material de mejoramiento. También se determina que la expansión de este material es de 1.0%, siendo menor al 1.6% obtenido del material de mejoramiento.

Con los resultados obtenidos de la mezcla MV80/PA20 se determina que, todos los parámetros medidos cumplen con las especificaciones, sin embargo, el índice de plasticidad está cerca del máximo permitido.

4.2.1.5 Mezcla MV70/PA30 (70% mejoramiento y 30% puzolana).

En la Figura 0-15 se observa que la densidad seca máxima de la mezcla MV70/PA30 es 2201 kg/m³ y la humedad óptima es de 8.82 %.

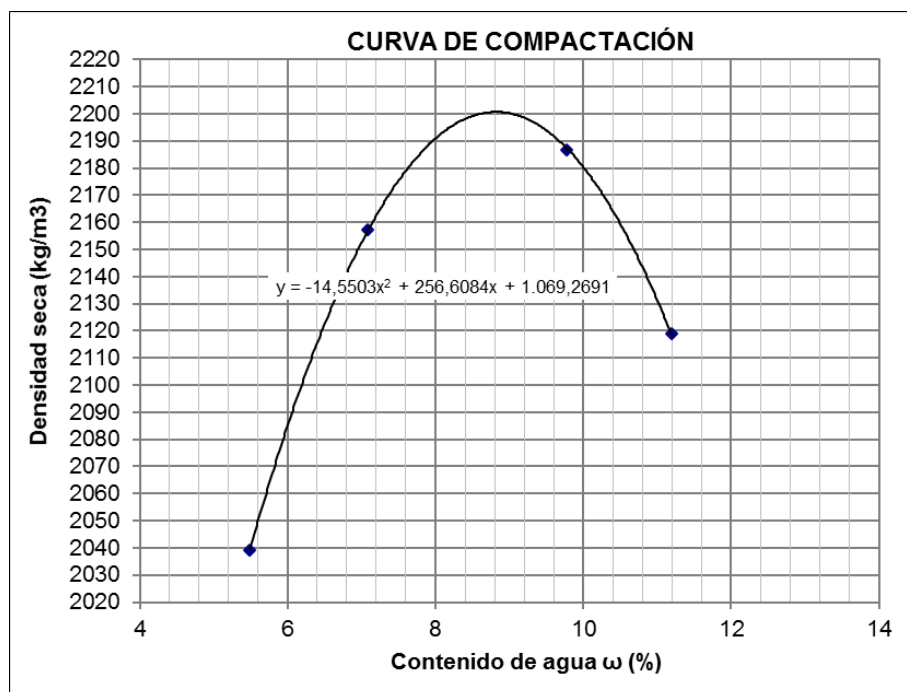


Figura 0-15: Densidad seca vs contenido de agua de la mezcla MV70/PA30.

La concavidad de las curvas esfuerzo – penetración de la mezcla MV70/PA30, indica que estas deben ser corregidas. En la Figura 0-16 se presentan las correcciones de las curvas.

Nº Golpes por capa		56	25	10	
NUEVO	0	0,071	0,076	0,102	mm
		0,028	0,03	0,04	pulg.

VALORES CORREGIDOS

PENETRACIÓN		CARGA UNITARIA		
mm	(pulg)	56	25	10
2,54	0,1	53	39	24,5
5,08	0,2	99	69	35

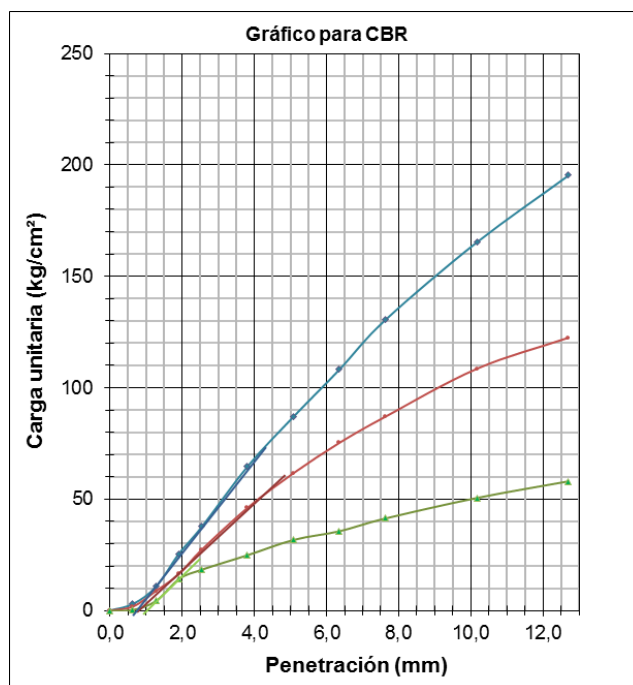


Figura 0-16: Curvas esfuerzo – penetración de la mezcla MV70/PA30 corregidas.

Con los nuevos datos obtenidos de las curvas corregidas se elabora la gráfica de densidad vs CBR que se presenta a continuación en la Figura 0-17.

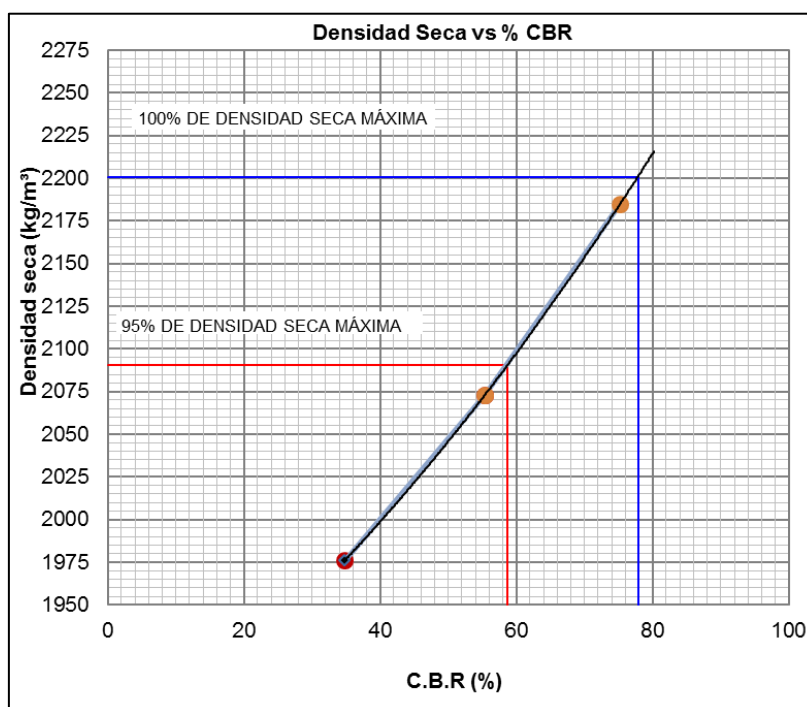


Figura 0-17: Determinación del CBR de la mezcla MV70/PA30.

Se puede observar en la Figura 0-17 el $CBR_{100\%}$ para la densidad seca máxima es de $77.9\% > 47\%$ del material de mejoramiento. El CBR al 95% de la densidad seca máxima es de $58.7\% > 10\%$ necesario para cumplir con las especificaciones de material de mejoramiento. Se determina además que la expansión de este material es de 0.80% , siendo menor al 1.6% obtenido del material de mejoramiento.

Con los resultados obtenidos de la mezcla MV70/PA30 se determina que, el CBR se incrementa a valores superiores a los requeridos incluso para una subbase (30%), la expansión disminuye a 0.8 es decir el 50% del límite permitido. El decremento del índice de plasticidad con respecto a la mezcla MV80/PA20, no es muy significativo, sin embargo, se aleja en 0.62% del valor máximo permitido.

4.3 RESUMEN GENERAL DE RESULTADOS

En la Tabla 0-5 se recogen los resultados de los ensayos Proctor Modificado de los materiales.

Tabla 0-5: Variación de la Densidad Seca Máxima.

Material/Mezcla	Proctor Modificado	
	Optimo Contenido de Humedad %	Densidad Seca Máxima kg/m^3
Mejoramiento La Virginia	11,02	2.180,00
Puzolana Araña Huaycu (PA)	11,80	1.945,00
MV90/PA10	9,52	2.230,00
MV80/PA20	9,26	2.222,00
MV70/PA30	8,82	2.201,00

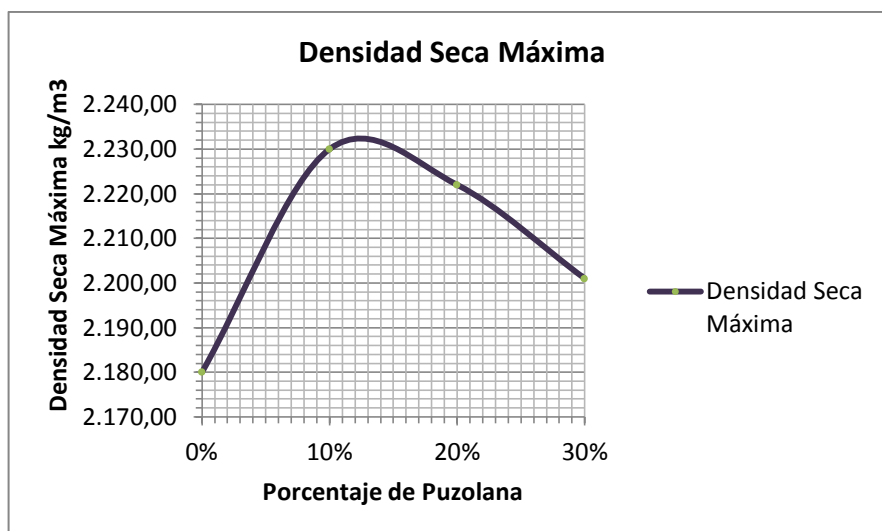


Figura 0-18: Variación de la Densidad Seca Máxima al añadir puzolana al material de mejoramiento.

En la Figura 0-18 se determina que, inicialmente con la adición del 10% de puzolana material de mejoramiento, se incrementa la densidad máxima seca de $2,180.00 \text{ kg/m}^3$ a $2,230.00 \text{ kg/m}^3$, sin embargo, al incrementar al 20% de puzolana, disminuye a $2,222.00 \text{ kg/m}^3$ y finalmente la densidad seca máxima disminuye a $2,201.00 \text{ kg/m}^3$ con la incorporación del 30% de puzolana.

Se observa también que la densidad seca máxima tiene tendencia a la baja con el incremento de la puzolana.

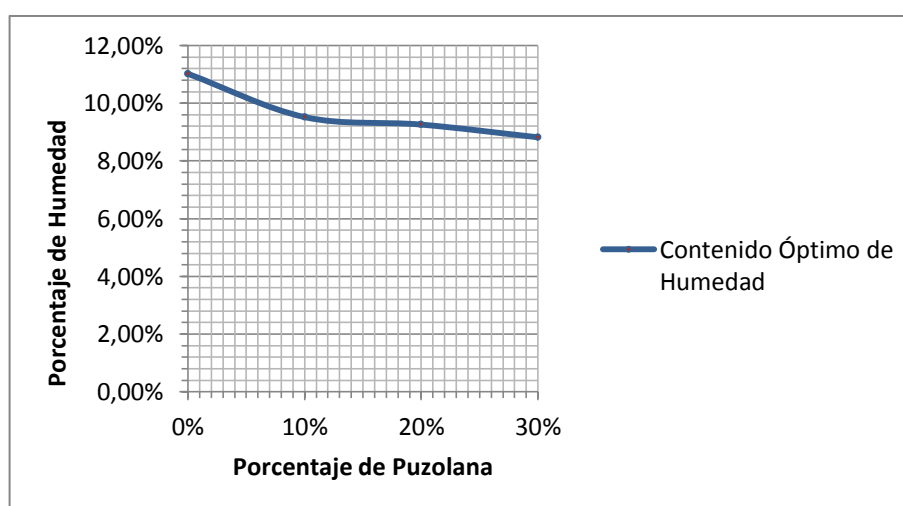


Figura 0-19; Variación del contenido óptimo de humedad al añadir puzolana al material de mejoramiento.

En la Figura 0-19 se determina que a mayor de cantidad de puzolana incorporada disminuye el contenido óptimo de humedad para obtener la densidad seca máxima de las mezclas.

Considerando que el contenido de humedad en condiciones generales, tanto del mejoramiento como de la puzolana, son superiores al contenido óptimo de humedad de las mezclas para obtener la densidad seca máxima, se debe tener el material explotado en stock a fin de que disminuya la humedad natural antes de ser tendida.

En la Tabla 0-6 se recogen los resultados de los ensayos CBR de los materiales.

Tabla 0-6: Resultados de ensayos CBR.

Material/Mezcla	CBR al 100% para 0.10" %	CBR al 95% para 0.10" %	Expansión %
Mejoramiento La Virginia (MV)	47,0	41,0	1,6
MV90/PA10	63,0	39,0	1,0
MV80/PA20	71,3	39,2	1,0
MV70/PA30	77,9	58,7	0,8

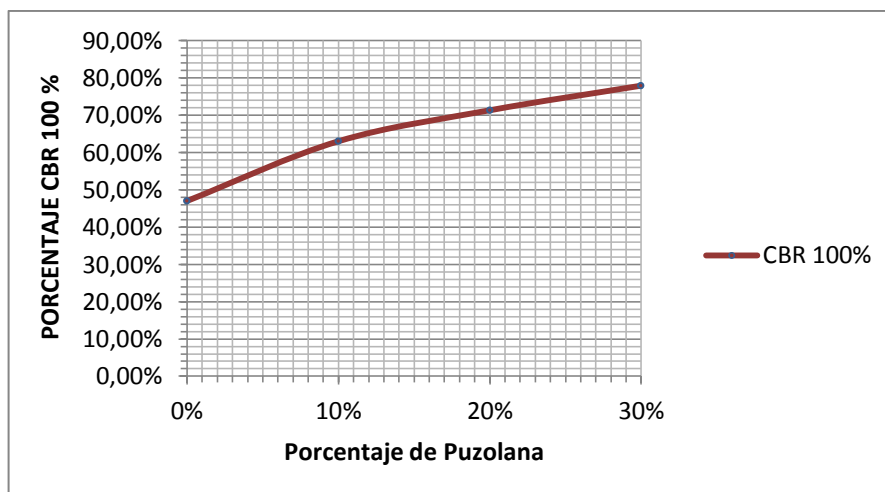


Figura 0-20: Variación del CBR al 100% de la Densidad Seca Máxima al añadir puzolana de la mina Araña Huaycu al material de mejoramiento de la mina La Virginia.

En la Figura 0-20 se observa que, con el incremento del porcentaje de puzolana utilizado, el CBR tiene tendencia al alza.

Comparando con el 10 % exigido por las especificaciones, el material de mejoramiento tiene un CBR alto, mismo que al incrementar la puzolana también se incrementa de 47 % a 77.9 % con el 30 % de puzolana.

El CBR obtenido tanto del mejoramiento como de las mezclas, es superior incluso al requerido para un material de subbase (30%).

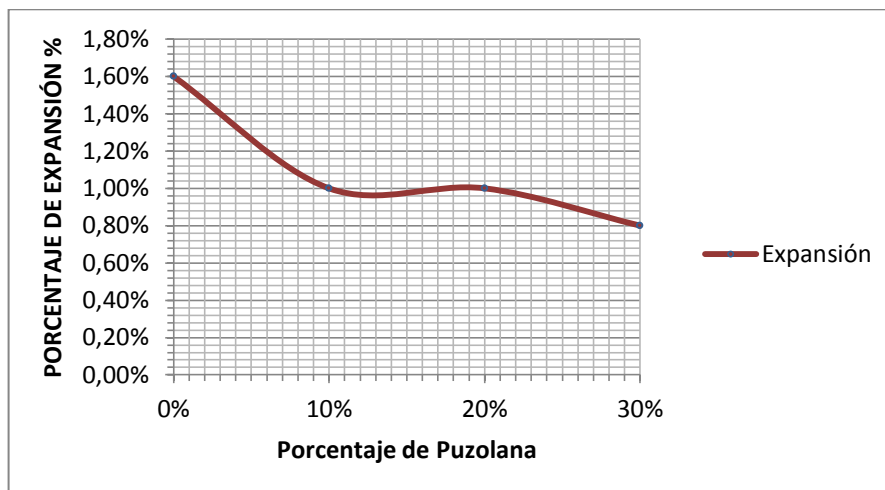


Figura 0-21: Variación de la expansión al añadir puzolana al material de mejoramiento.

En la Figura 0-21 se determina que el porcentaje de expansión disminuye de 1.6 % que tiene el mejoramiento en su estado natural a 0.8 % con la adición del 30% de puzolana.

Según la figura se determina que la curva tiene tendencia a la baja.

Si bien la especificación tolera una expansión de 2%, lo que se busca en los materiales es que carezcan del mismo, con la adición de la puzolana se logra disminuir en el mejor de los casos a 0.8 %, es decir al 40 % de lo exigido por las especificaciones.

CAPÍTULO V

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO Y ANÁLISIS ECONÓMICO

En este capítulo se presentan las alternativas de diseño de la estructura de pavimento con cada material analizado. Considerando el material de mejoramiento de la Mina la Virginia únicamente y en combinación con los diferentes porcentajes de puzolana.

Estos diseños llevarán a comparar económicamente las diferentes alternativas; para ello se tomará como datos básicos la vía Paute Bulán Matrama, cuyo estudio de mejoramiento vial fue contratado por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas en el año 2012 y está siendo ejecutada actualmente por el Gobierno Provincial del Azuay.

5.1 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

La vía Paute Bulán Matrama está ubicada en el cantón Paute, de la provincia del Azuay; se encuentra aproximadamente a 3.6 km de la mina de La Virginia y a 10.6 km de la mina Araña Huaycu, como se muestra en la Figura 5- 1.

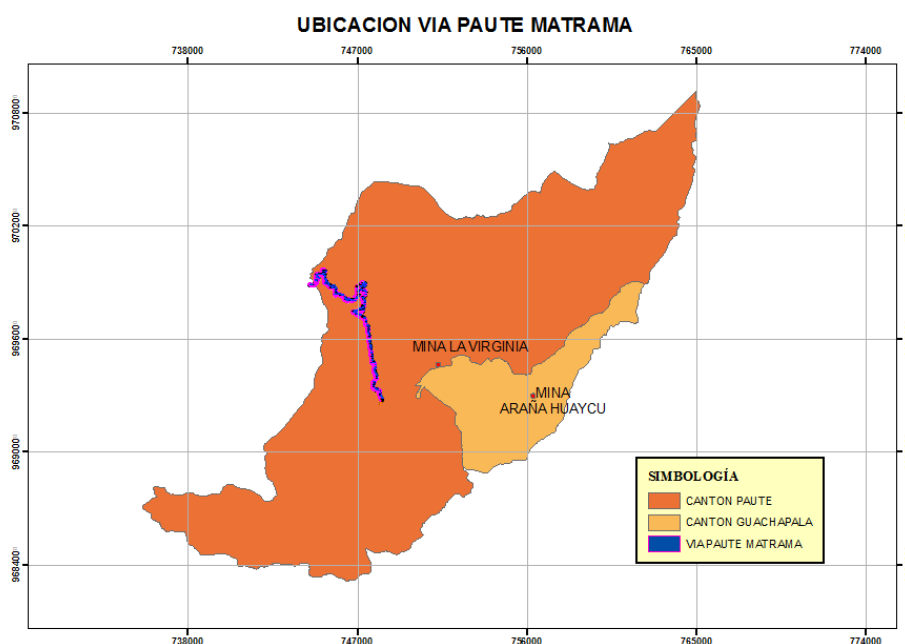


Figura 5- 1: Ubicación vía Paute Bulán Matrama con respecto a las minas.

En el estudio contratado por el Ministerio de Obras Públicas, para la rehabilitación de la Vía Paute Bulán Matrama, se hizo un análisis mediante ensayos de laboratorio, como granulometría, límites de Atterberg y CBR de la subrasante, en donde se observa que la capacidad del suelo es variable por lo que se toma un valor de CBR de diseño de 11% considerando los picos más bajos. En la distribución granulométrica se obtiene que hasta la abscisa 7+675 la subrasante está conformada por suelo areno limoso (SM) y desde allí hasta el final del proyecto está constituida por suelos granulares de matriz limosa y arcillosa (GW-GC, GP, GW-GM). De los Límites de Atterberg se concluye que el límite líquido del material de subrasante de las ocho calicatas no supera el 40% y la mayoría de los valores del índice de plasticidad son menores al 10%, por lo tanto, el suelo que conforma la subrasante es de baja plasticidad. La relación entre humedad natural y la humedad óptima de compactación establece que la primera es mayor. Basados en el análisis anterior, se tomará en 11% el CBR, para efectos del diseño, además de algunos datos necesarios que se presentan en la Tabla 5-1, extraída del informe “Estudios para la rehabilitación de la vía Paute – Matrama, ubicada en el cantón Paute de 15.00 km” (MTOP, 2012).

Tabla 5- 1: Datos para diseño de pavimentos vía Paute-Matrama. (MTOP, 2012).

Datos para el diseño de pavimentos de acuerdo al metodo AASHTO	
W18: Número de cargas de 18 kips	830930
MR: Módulo Resiliente de la Subrasante	16500
t: Periodo de diseño	7 años

Cabe mencionar que en los “Estudios para la rehabilitación de la vía Paute – Matrama, ubicada en el cantón Paute de 15.00 km”, estos datos se utilizaron para realizar un diseño de pavimento flexible, por lo que estos datos en la presente investigación se utilizaran para fines prácticos de aplicar los datos obtenidos en los ensayos en una vía real de la provincia del Azuay.

Se realizará el diseño para obtener una capa adecuada de material granular de la mina La Virginia y de las mezclas con material de la mina Araña Huaycu, utilizando el método de la AASHTO 93.

Primero, se obtendrá el número estructural, utilizando los datos obtenidos de la Tabla 5-1, se utilizará el tráfico de diseño (830.930 cargas de 18 kips) y el CBR de la subrasante (11%).

Además, considerando que la vía en estudio es local, y de acuerdo a lo recomendado por la AASHTO, se trabajará con un nivel de confiabilidad de 70 según la Tabla 5-2, lo que permitirá calcular el dato de la desviación estándar necesaria para el método de diseño utilizado.

Tabla 5- 2: Niveles de confiabilidad sugeridos para diferentes carreteras (AASHTO, 1993)

CLASIFICACIÓN	NIVEL DE CONFIABILIDAD RECOMENDADO	
	URBANA	RURAL
Autopistas interprovinciales y otras	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 – 95
Colectoras de transito	80 – 95	75 – 95
Carreteras locales	50 – 80	50 – 80

Este método considera para este tipo de pavimentos una servicialidad inicial de 4.3 y una final de 2.5, obteniendo así una pérdida de servicialidad de 1.7 como se observa en la Tabla 5-3.

Tabla 5- 3: Tabla para obtención de número estructural.

DATOS		
EJES EQUIVALENTES Y CLASIFICACION FUNCIONAL DE LA VÍA		
W18 (N° Cargas de 18 kips)	830.930,00	Tráfico de diseño
Clasificación Funcional de vía	local	Tipo de vía
DATOS INGRESO AASHTO 93		
Nivel de confiabilidad	70%	Confiabilidad
Zr de acuerdo a Confiabilidad	-0,5244	Desviación normal estándar para R
So (desviación estándar)	0,45	Desviación estándar
Po	4,2	Servicialidad inicial
Pt	2,5	Servicialidad final
ΔPSI	1,7	Perdida de servicialidad
INGRESO CBR y Módulos de Resilencia (MR)		
CBR	PORCENTAJE	MR
CBR Subrasante	11%	16.500,00
CÁLCULO DE SN CAPA SUPERIOR		
SN	2,183	valor hallado

Con estos datos básicos, se procede a la obtención del número estructural SN, necesario para hallar el espesor de la capa granular en cada caso, aplicando la ecuación sugerida por la AASHTO, obteniendo así un SN de 2.183 (Tabla 5-3).

La ecuación para el cálculo del SN (número estructural) es la (2) que si indica a continuación:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + \quad (2)$$

$$2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Fuente: (Montejo Fonseca, 2002)

Para el diseño del espesor de cada capa (Di), se utilizará el número estructural calculado y el coeficiente de capa (ai). En el caso del mejoramiento, el coeficiente de capa, se determina en el ábaco correspondiente al diseño AASHTO utilizando el CBR del material. Para determinar a2, a3 y a4, coeficientes estructurales de cada capa de material estabilizado, se utiliza los ábacos de la AASHTO 1993, pero aplicando los módulos elásticos determinados en base al CBR de cada capa como se muestra en la Figura 5-2, a la Figura 5-4, para todos los casos la longitud del espécimen L es igual a 5 pulg:

	CARGA UNITARIA		
	56	25	10
σ (kg/cm2)	401,71	205,68	91,36
ΔL (pulg)	0,0639	0,0408	0,02
$\Delta L/L$	0,0128	0,0082	0,004
MR (lb/pulg2) =	31440	25206	22840

MR=	31440	lb/pulg ²
-----	-------	----------------------

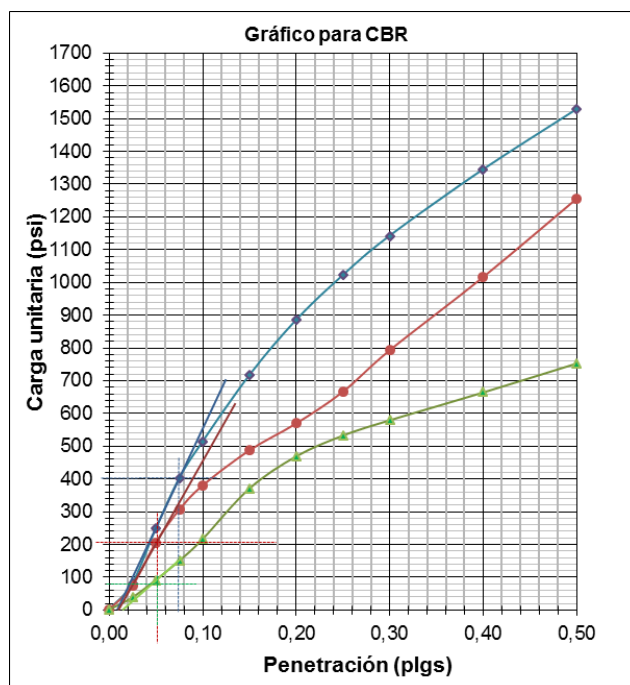


Figura 5- 2: Cálculo de Modulo de Resilencia para la mezcla MV90/PA10.

	CARGA UNITARIA		
	56	25	10
σ (lb/pulg ²)	925,52	616,05	205,74
ΔL (pulg)	0,139	0,143	0,055
$\Delta L/L$	0,0278	0,0286	0,011
MR (lb/pulg ²)=	33292	21540	18704

MR =	33292	lb/pulg ²
------	-------	----------------------

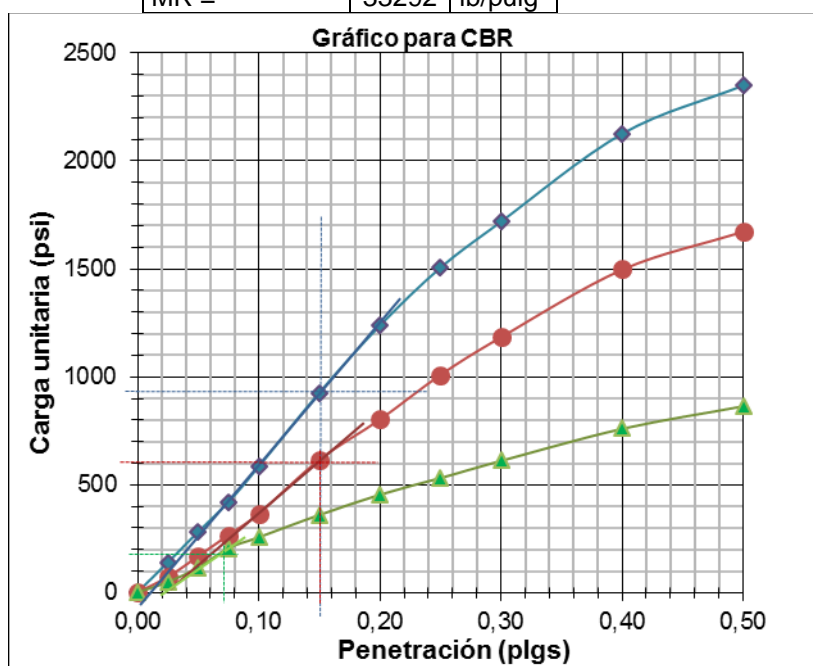


Figura 5- 3: Cálculo de Modulo de Resilencia para la mezcla MV80/PA20.

	CARGA UNITARIA		
	56	25	10
σ (lb/pulg ²)	920,55	655,40	202,45
ΔL (pulg)	0,1218	0,12	0,035
$\Delta L/L$	0,0244	0,024	0,007
MR (lb/pulg ²)=	37797	27308	28921

MR=	37797	lb/pulg ²
-----	-------	----------------------

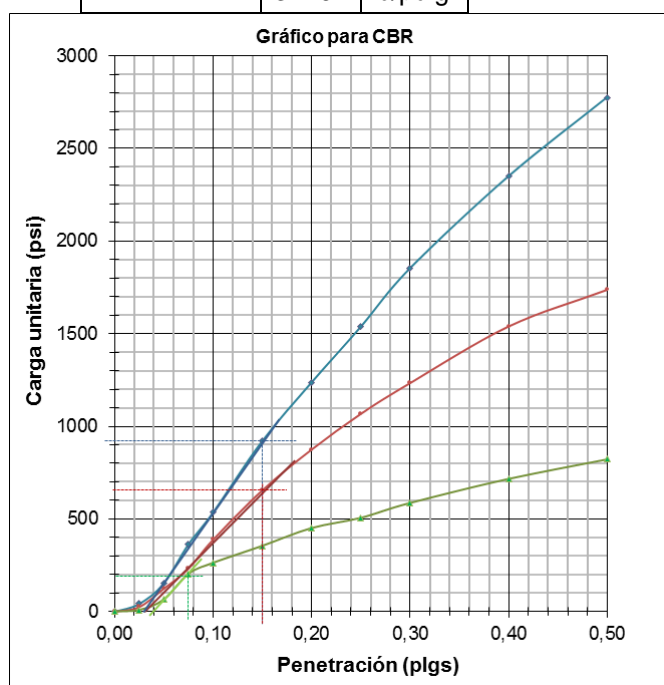


Figura 5- 4: Cálculo de Modulo de Resilencia para la mezcla MV70/PA30.

De la Figura 5-2 a la Figura 5-4, se determina el Módulo de Resilencia para cada mezcla obteniéndose así los coeficientes de capa para cada una de la mezclas y se presentan en la **¡Error!** **No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 5- 4: Coeficientes de capa.

Capa	CBR/MR	Coeficiente ai
Mejoramiento	47%	0.115
Mezcla 90/10	31440 lb/pulg ²	0.144
Mezcla 80/20	33292 lb/pulg ²	0.150
Mezcla 70/30	37797 lb/pulg ²	0.166

En la Figura 5-5, se presenta el ábaco correspondiente a la Normativa propuesta por la AASHTO 93 para la obtención de coeficientes estructurales para capas granulares aplicado

en el presente estudio, que sustenta los valores obtenidos en los coeficientes a_i de la Tabla 5-4, las líneas horizontales de colores indican los valores empleados y obtenidos.

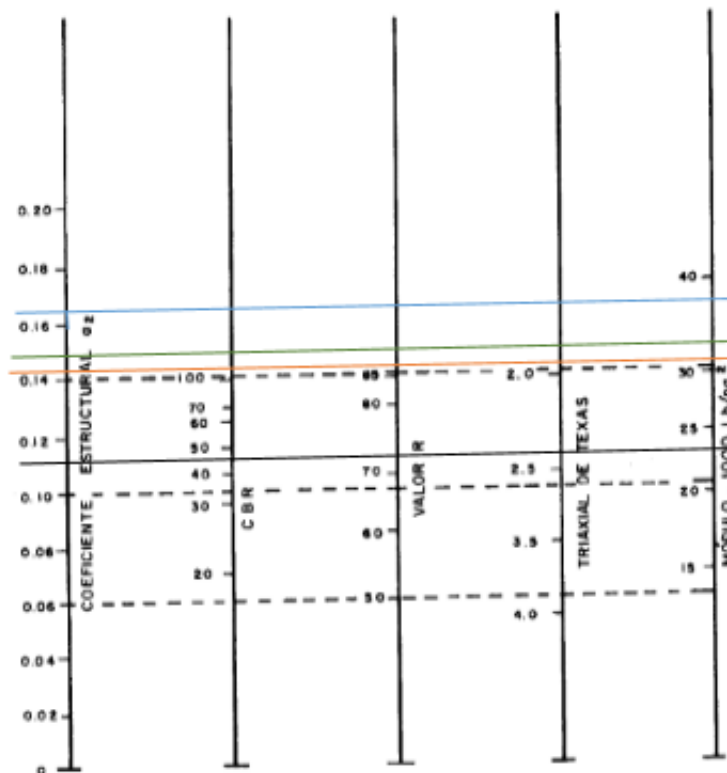


Figura 5- 5: Variación de coeficientes a_2 con diferentes parámetros de la base granular. (Montejo Fonseca, 2002).

A partir de los datos anteriores, se realiza el cálculo de espesores para cada material. En la Tabla 5-5, se observa los cálculos para determinar el espesor de capa de mejoramiento en su estado natural, donde D_1 es el espesor a determinarse, SN el número estructural y a_1 el coeficiente estructural que se obtiene en la Tabla 5-4. Con estos datos se procede a aplicar la ecuación que relaciona el número estructural y el coeficiente estructural Ecuación (2) y se obtiene un espesor de capa de 48 cm.

A continuación, las Tablas con el cálculo de espesor de cada material granular, para obtener los espesores utilizamos la ecuación SN/a , es decir dividir el numero estructural hallado para el coeficiente estructural.

Tabla 5- 5: Diseño de pavimento con mejoramiento MV.

CÁLCULO DE ESPESOR PARA CAPA DE MEJORAMIENTO		
D1 =	SN1/a1	Ecuación 3
CBR=	47%	CBR obtenido en ensayo
MR=	23000	MR obtenido en ábaco AASHTO
a1=	0.115	
SN=	2.183	
D1 =	19	pulgadas
D1 =	48	cm

Con el mismo procedimiento, en la Tabla 5-6, se observa los cálculos para determinar espesor de capa de mejoramiento estabilizado en proporción 90/10, donde D2 es el espesor a determinarse, SN el número estructural y a2 el coeficiente estructural que se obtiene en la Tabla 5-4, aplicando la Ecuación (2) se obtiene un espesor de capa de 41 cm.

Tabla 5- 6: Diseño de pavimento con la mezcla MV90/PA10.

CÁLCULO DE ESPESOR PARA CAPA DE MEJORAMIENTO ESTABILIZADO MV90/PA10		
D2 =	SN/a2	Ecuación 3
CBR=	63%	CBR obtenido en ensayo
MR=	37797 lb/pulg ²	MR obtenido en ábaco AASHTO
a2=	0.144	
SN=	2.183	
D2 =	16	pulgadas
D2 =	41	cm

En la Tabla 5-7, se observa los cálculos para determinar el espesor de capa de mejoramiento estabilizado en proporción 80/20, donde D3 es el espesor a determinarse, SN el número estructural y a3 el coeficiente estructural que se obtiene en la Tabla 5-4, aplicando la ecuación (2) se obtiene un espesor de capa de 38 cm.

Tabla 5- 7: Diseño de pavimento con la mezcla MV80/PA20.

CÁLCULO DE ESPESOR PARA CAPA DE MEJORAMIENTO ESTABILIZADO MV80/PA20		
D3 =	SN/a3	Ecuación 3
CBR=	71%	CBR obtenido en ensayo
MR=	33389 lb/pulg2	MR obtenido en ábaco AASHTO
a3=	0.150	
SN=	2.183	
D3 =	15	pulgadas
D3 =	38	cm

En la Tabla 5-8, se observa los cálculos para determinar el espesor de capa de mejoramiento estabilizado en proporción 70/30, donde D4 es el espesor a determinarse, SN el número estructural y a4 el coeficiente estructural que se obtiene en la Tabla 5-4, aplicando la Ecuación (2) se obtiene un espesor de capa de 36 cm.

Tabla 5- 8: Diseño de pavimento con la mezcla MV70/PA30.

CÁLCULO DE ESPESOR PARA CAPA DE MEJORAMIENTO ESTABILIZADO MV70/PA30		
D4 =	SN/a4	Ecuación 3
CBR=	78%	CBR obtenido en ensayo
MR=	31440 lb/pulg2	MR obtenido en ábaco
a4=	0.166	
SN=	2.183	
D4 =	14	pulgadas
D4 =	36	cm

A continuación, se presenta un resumen de resultados de espesores de capa en la Tabla 5-9, como se observa existe una reducción progresiva de espesor en las capas con material estabilizado llegando a una menor reducción en la opción mezcla MV70/PA30.

Tabla 5- 9: Resumen de resultados.

Resultados Espesor de Capa	
Mejoramiento	48 cm
Mezcla 90/10	41 cm
Mezcla 80/20	38 cm
Mezcla 70/30	36 cm

Entre la opción de trabajar con una capa de mejoramiento únicamente de 48 cm y una capa de 36 cm en la mezcla 70/30, a pesar de haber una reducción considerable de 12 cm, se debería analizar el tema económico para llegar a una conclusión de la utilidad real de la presente propuesta.

5.2 ANÁLISIS ECONÓMICO

Para realizar el análisis económico de los diferentes materiales granulares en estudio, se debe considerar el costo de explotación de cada material considerando los recursos que se va a utilizar para este fin, estableciendo un costo de explotación de 4 dólares para el mejoramiento de la Mina la Virginia y también para la puzolana de la Mina Araña Huaycu, de acuerdo a investigación en minas y cálculo de maquinaria por parte de las investigadoras. En segundo lugar, se toman en cuenta las distancias de cada mina a la vía, esto con el fin de con un valor por kilómetro, establecer el costo de traslado de material al punto de construcción. Se considera un costo de 30 centavos de dólar por km/m³ y se conoce que a la mina La Virginia existe una distancia de 3.6 kilómetros a la vía y a la mina Araña Huaycu existe una distancia de 10.6 kilómetros, con lo que se obtendría un costo de 1.08 dólares por transporte a la mina de mejoramiento y 3.08 dólares por concepto de transporte de material a la mina de puzolana.

Obteniéndose así un costo de 5.08 dólares por m³ de mejoramiento, 5.39 dólares por metro cúbico para la mezcla 90/10, 5.70 dólares por metro cúbico para la mezcla 80/20 y 6.01 dólares por metro cúbico para la mezcla 70/30, como se observa en la Tabla 5-10. (Fuente: Gobierno Provincial del Azuay).

Cabe mencionar que para efectos de esta investigación no se está tomando en consideración el costo del mezclado, pues de acuerdo a experiencia laboral, el mezclado se puede realizar dentro del proceso de colocación del material y el costo por maquinaria en este tiempo no resulta significativo.

Tabla 5- 10: Costo de material más transporte por m3 de material

	Mejoramiento			Puzolana			Mezcla
material	cantidad	costo	transporte	cantidad	costo	transporte	costo
Mejoramiento	1	4	1.08				5.08
Mezcla 90/10	0.9	3.6	0.972	0.1	0.5	0.318	5.39
Mezcla 80/20	0.8	3.2	0.864	0.2	1	0.636	5.70
Mezcla 70/30	0.7	2.8	0.756	0.3	1.5	0.954	6.01

Aplicando estos costos para las condiciones geométricas de la vía Paute Matrama, se obtiene el costo mostrado en la Tabla 5-11.

Tabla 5- 11: Costo de cada Material Granular

COSTO PARA LA VIA						
MATERIAL	ESPESOR (m)	ANCHO TOTAL VIA (m)	LONGITUD VIA (m)	VOLUMEN (m3)	COSTO MATERIAL POR m3	TOTAL
Mejoramiento	0.42	7.2	15000	45360	\$ 5.08	\$ 230,428.80
Mezcla 90/10	0.40	7.2	15000	43200	\$ 5.39	\$ 232,848.00
Mezcla 80/20	0.37	7.2	15000	39960	\$ 5.70	\$ 227,772.00
Mezcla 70/30	0.37	7.2	15000	39960	\$ 6.01	\$ 240,159.60

Este costo mostrado en la Tabla 5-11 corresponde a una inversión inicial. Al considerar los mantenimientos rutinarios que se podrían realizar se obtiene un análisis del costo total de la inversión como se muestra en la Tabla 5-12 considerando el uso de material de mejoramiento en su estado natural y en la Tabla 5-13, considerando el uso de la mezcla MV70/PA30 ya que esta proporción se considera la más adecuada debido a que es la que presenta un menor espesor y características geomecánicas adecuadas.

Tabla 5- 12: Análisis de Costos Material de Mejoramiento

ALTERNATIVA 1 PARA CAPA DE MEJORAMIENTO		
DATOS INICIALES		
Costo inicial de construcción	230428.8	
Costo de conservación rutinaria	9217.152	mes
Costo de rehabilitación al año 7	172821.6	
Valor residual de la estructura	35%	del costo inicial
CÁLCULO CGA		
CGA	Costo global actualizado	1,448,097.22

Tabla 5- 13: Análisis de Costos Mezcla MV70/PA30

ALTERNATIVA 2 PARA CAPA DE Mezcla MV70/PA30		
DATOS INICIALES		
Costo inicial de construcción	240159.6	
Costo de conservación rutinaria	4803.192	mes
Costo de rehabilitación al año 7	144095.76	
Valor residual de la estructura	35%	del costo inicial
CÁLCULO CGA		
CGA	Costo global actualizado	913,106.64

Se observa que en la Tabla 5-12, con la opción de material de mejoramiento en su estado natural muestra un costo global de 1'448,097.22 dólares y en la alternativa 2 de la mezcla MV70/PA30 un costo de 913,106.64 dólares como se observa en la Tabla 5-13, para ambos casos se considera una rehabilitación a los 7 años y el costo de mantenimiento rutinario del 4% para la alternativa 1, mientras que para la alternativa 2 al tener mejores condiciones de resistencia en el material se considera un costo de mantenimiento rutinario de 2% mensual. Resultando como una mejor inversión de acuerdo a estos datos la de la mezcla de Mejoramiento-Puzolana 70/30.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presenta las conclusiones y recomendaciones de la comparación de los resultados de cada uno de los materiales luego de evaluar las características y propiedades del suelo natural y estabilizado, se analiza el porcentaje óptimo de la estabilización del material de mejoramiento de la mina La Virginia con material puzolana de la mina Araña Huaycu.

6.1 CONCLUSIONES

- El índice de plasticidad del material de mejoramiento de la mina La Virginia en su estado natural fue de 16.37% lo cual no cumple con las especificaciones para uso como material de mejoramiento que debe ser menor a 9%.
- El límite líquido del material de mejoramiento en su estado natural fue de 39.98% con el que no cumple con las especificaciones para uso como material de mejoramiento que debe ser menor a 35%.
- La densidad máxima seca del proctor modificado del mejoramiento en su estado natural fue de 2.180 kg/m³, su humedad óptima de 11.02%, el CBR al 100% de la densidad máxima seca fue de 47% con una expansión de 1.6%. Si bien estas características son adecuadas, el material no puede ser empleado ya que los resultados de índice de plasticidad y límite líquido no cumplen con las especificaciones generales del MTOP. El material de mejoramiento en su estado natural no es apto para su uso como tal, por lo tanto debe ser estabilizado.



- Al añadir el 10% de puzolana al material de mejoramiento (MV90/PA10) se obtiene que el índice de plasticidad disminuye a 11.53% y el límite líquido a 32.62%, se denota además un incremento en la densidad seca máxima a 2.230 kg/m³ y en el CBR al 100% a 63%, y la expansión disminuye al 1%. Sin embargo, es insuficiente la disminución en cuanto al índice de plasticidad que aún no cumple con las especificaciones para uso como material de mejoramiento que debe ser menor a 9%.
- Al añadir el 20% de puzolana al material de mejoramiento se obtiene en relación a la mezcla MV80/PA20 que el índice de plasticidad disminuye a 8.64% y el límite líquido a 29.84%, se denota que además una disminución en la densidad seca máxima a 2.222 kg/m³ y un incremento del CBR a 71.3%, mientras que la expansión se mantiene en 1%. Con estos parámetros la mezcla cumple con las especificaciones para su uso como material de mejoramiento.
- Al añadir el 30% de puzolana al material de mejoramiento se obtiene en relación a la mezcla MV70/PA30 que el índice de plasticidad disminuye a 8.37% y el límite líquido a 29.18%, se denota que además una disminución en la densidad seca máxima a 2.201 kg/m³ y un incremento del CBR al 100% a 77.9% y la expansión disminuye al 0.8%. Con estos parámetros la mezcla también cumple con las especificaciones para su uso como material de mejoramiento.
- El diseño de la estructura de pavimento muestra resultados concluyentes a partir de los CBR de cada material. Para el material de mejoramiento sin estabilización se debe utilizar un espesor de capa de 48 cm, para el material estabilizado en proporción MV90/PA10 se requiere una capa de 41 cm, para el material estabilizado en proporción MV80/PA20 se requiere una capa de 38 cm y para el



material estabilizado en proporción MV70/PA30 se requiere una capa de 36 cm. Ello claramente muestra que hay una reducción de 12 cm de la primera opción a la última, lo que denotaría una reducción de 25% de espesor de la capa que en términos técnicos y económicos es significativo.

- Al realizar el análisis económico, con la capa de material de mejoramiento sola y con el material estabilizado en la proporción MV70/PA30, se observa que hay una apreciable diferencia, considerando un periodo de análisis de 14 años y una rehabilitación a los 7 años. Para la primera opción se tiene una inversión de 1'448.097,22 dólares, mientras que para el material estabilizado se tiene 913.106,64 dólares. Es decir, se muestra una reducción de 534.990,58 dólares, alrededor del 37%, cifra que para la aplicación resultaría de gran importancia para el ahorro en cualquier institución pública o privada que realice mantenimiento vial a nivel de capas granulares.

De acuerdo a este estudio, se concluye que la mezcla estabilizada en proporción MV70/PA30 arroja los mejores resultados, incrementando el CBR hasta el 77.9% que equivale a un 66% con respecto al material de mejoramiento en su estado natural (CBR original 47%), reduciendo el índice de plasticidad de 16.37% al 8.37% que equivale al 49% de disminución.



6.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda tener en cuenta que en el presente trabajo se dan resultados de estabilización específicamente para material de mejoramiento de la mina La Virginia de Paute y mina Araña Huaycu de Guachapala, por lo que estabilizaciones con materiales de otras minas cercanas podrían variar en sus resultados, por lo que se recomienda realizar los ensayos de laboratorio aquí presentados para poder dosificar la mezcla más adecuada.
- Previo a la puesta en obra de la mezcla, se sugiere se construya un tramo de prueba de 500 metros de longitud, para determinar el valor de soporte del suelo CBR, límites Atterberg, granulometría, la densidad máxima seca y contenido real de puzolana del material estabilizado.
- Como complemento de esta investigación, se recomienda realizar ensayos de laboratorio utilizando cemento portland para determinar si es posible disminuir aún más el índice de plasticidad hasta llegar a cumplir con los parámetros requeridos para un material con características de base, es decir que sea menor a 6% ya que el CBR obtenido con la adición del 30% de puzolana alcanza el 78% aproximándose al 80% exigido por las especificaciones del MTOP.



BIBLIOGRAFÍA

- Bedoya, V. (2005). Estudio de la Capacidad Portante de la Calle Cantón Paute. *Tesis de maestría, Universidad de Cuenca*. Cuenca, Ecuador.
- Duque E., G. (2002). *Mecánica de Suelos*. Manizales. Obtenido de Apuntes del Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.): <http://civilgeeks.com/2015/07/11/apuntes-del-sistema-unificado-de-clasificacion-de-suelos-s-u-c-s/>
- Gobierno Provincial del Azuay, G. (2016). *Rendición de Cuentas 2015*. Cuenca.
- Hensley, T., Jensen, W., & Berryman, C. (Junio de 2007). Pozzolan Stabilized Subgrades. *Pozzolan Stabilized Subgrades*. Nebraska, Estados Unidos de América: Department of Roads Research Project SPR-1 (06)578.
- Instituto Geofísico, P. N. (2016). *Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional*. Obtenido de Vulcanología: <http://www.igepn.edu.ec/red-de-observatorios-vulcanologicos-rovig>
- Instituto Geográfico Militar, I. (1974). Mapa Geológico del Ecuador, hoja 73 Azogues. Ecuador.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas, M. (2013). *Norma Ecuatoriana Vial NEVI2012*. Quito: MTOP.
- Monsalve, L. (2012). Diseño de Pavimento Flexible y Rígido. Vía Aeropuerto El Edén. Colombia: Universidad del Quindío.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- MTOP, M. d. (2012). Estudios para la rehabilitación de la vía Paute-Matrama, ubicada en el Cantón Paute de 15 km. *Diseño de pavimentos*. Cuenca, Ecuador.
- Perez, R. (2012). Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos. *Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería*. Lima, Perú.
- Rico Rodriguez, A. (2005). *Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres Volumen I*. México: Limusa.



- Rivasplata, J. (2015). Módulo de Mecánica de Suelos I. *Universidad Nacional del Santa*. Chimbote, Perú: 2015.
- Suárez, A. E., & Urgilés, M. P. (2010). Caracterización de la ceniza volcánica del Tungurahua para la fabricación de un aglomerante Cal-puzolana. *Tesis de Licenciatura no publicada, Universidad de Cuenca*. Cuenca, Ecuador.
- Trajano Naranjo, V. (2011). Las Características del Suelo de Subrasante de los caminos vecinales de la Comunidad de Echaleche Pilahuín y su Incidencia en el Comportamiento de la Capa de Rodadura. *Tesis de Maestría, Universidad Técnica de Ambato*. Ambato, Ecuador.



ANEXO 01



MEJORAMIENTO MINA LA VIRGINIA (MV)



MAESTRÍA EN VIALIDAD Y TRANSPORTES



UNIVERSIDAD DE CUENCA

DETERMINACIÓN DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO CON
LA ADICIÓN DE PUZOLANA PARA VÍAS RURALES CON
MATERIAL LOCAL DE LA MINA LA VIRGINIA Y ARAÑA
HUAYCU

FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE CUENCA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

PROYECTO: TESIS

ABCISA: CANTERA

FECHA: 14 de junio del 2016

SECTOR: PAUTE

MUESTRA: MINA LA VIRGINIA

RESPONSABLES: Ing. Paola Delgado G.
Ing. Maribel Castro L.

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN

GRANULOMETRÍA (ASTM D422)

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO PARCIAL (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
3"	76,20	517,00	517,00	1,90	98,10
2 1/2"	63,50	850,00	1.367,00	5,03	94,97
2"	50,80	2.306,00	3.673,00	13,52	86,48
1 1/2"	38,10	4.672,00	8.345,00	30,72	69,28
1"	25,40	5.401,00	13.746,00	50,60	49,40
3/4"	19,00	2.332,00	16.078,00	59,19	40,81
1/2"	12,70	3.709,00	19.787,00	72,84	27,16
3/8"	9,53	1.446,00	21.233,00	78,16	21,84
N°4	4,75	2.300,00	23.533,00	86,63	(13,37)
< N°4		3.632,00			
N°8	2,36				
N°10	2,00	137,60	137,60	90,31	9,69
N°40	0,425	128,10	265,70	93,73	6,27
N°50	0,30				
N°100	0,15				
N°200	0,075	108,60	374,30	96,64	(3,36)
< N°200		4,60			

HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)

N° TARRO	N° GOLPES	PESO HÚMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO TARRO (gr)	% HUMEDAD	PROMEDIO (%)
D	---	99,14	90,15	17,81	12,43	
10	---	95,46	86,81	17,77	12,53	12,48

LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D4318)

8	40	29,83	26,61	18,11	37,88	
15	29	32,51	28,37	17,83	39,28	
2	20	30,35	26,67	17,75	41,26	
12	13	33,70	28,69	16,94	42,64	
						39,98

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318)

14	---	9,88	9,74	9,15	23,73	
7	---	9,95	9,80	9,21	25,42	
20	---	9,76	9,63	9,03	21,67	23,61

GRAVA	86,63 %	GRANULOMETRIA POR LAVADO	
ARENA	10,01 %	PESO MUESTRA SECA	500 gr
FINOS	3,36 %	DESPUES DEL LAVADO	378,9 gr

CLASIFICACIÓN:

SUCS: GW Grava bien graduada con bloques

AASHTO: A-2-6 Grava y Arena arcillosa o limosa

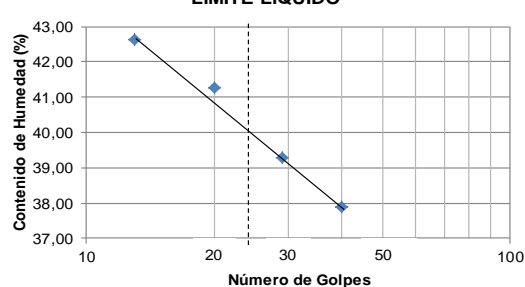
HUMEDAD NATURAL: 12,48 %

LÍMITE LÍQUIDO: 39,98

ÍNDICE PLÁSTICO: 16,38

ÍNDICE DE GRUPO: 0,0

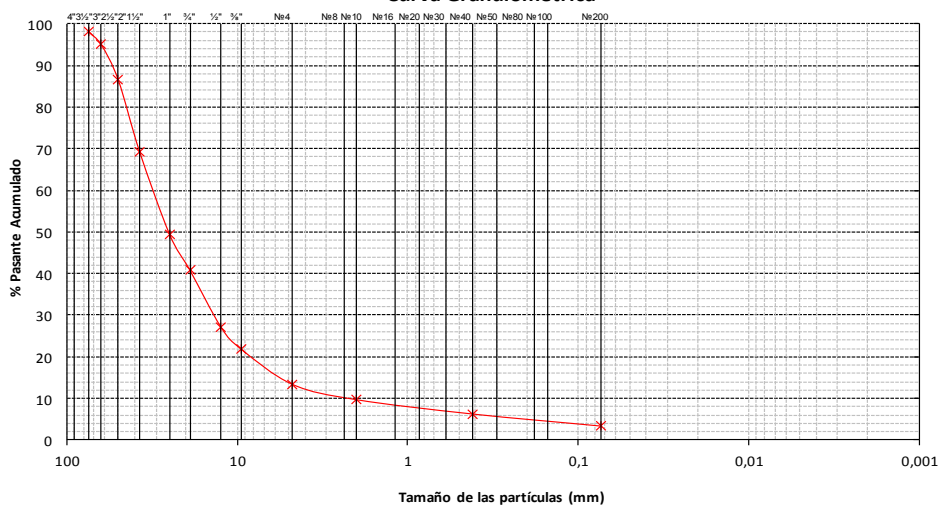
LÍMITE LÍQUIDO



OBSERVACIONES:

Descripción del material: Café claro granular con limo y arcilla

Curva Granulométrica



MAESTRÍA EN VIALIDAD Y TRANSPORTES

DETERMINACIÓN DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO CON LA ADICIÓN DE PUZOLANA PARA VÍAS RURALES CON MATERIAL LOCAL DE LA MINA LA VIRGINIA Y ARAÑA HUAYCU



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD

PROYECTO: TESIS

FECHA: 14 de junio del 2016

RESPONSABLES: Ing. Paola Delgado G.
Ing. Maribel Castro L.

Localización: PAUTE

Abscisa: CANTERA

Muestra MINA LA VIRGINIA

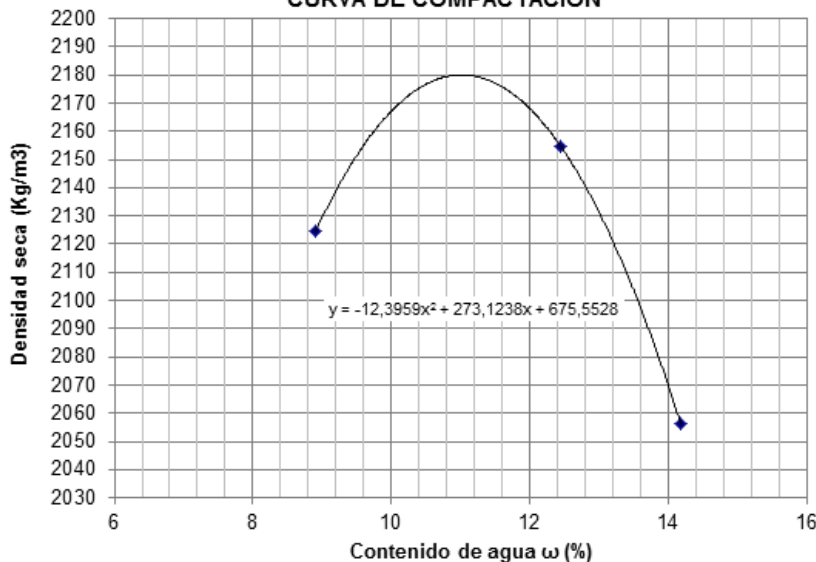
Descripción: Café claro granular con limo y arcilla

ENSAYO PROCTOR: MODIFICADO

Peso del cilindro	5,728	Kg.
Volumen del cilindro	0,0020830	m3
Peso del martillo	10	Lbs.
Altura de caída del martillo	18	plgs.
Número de capas	5	
Número de golpes/capa	56	
Energía de compactación	57.103	lb-ft / ft3

No.	Cáp No.	Peso tierra húmeda + cáp. gr.	Peso tierra seca + cáp. gr.	Peso de cáp. gr.	Peso de agua gr.	Peso seco gr.	Cont. de agua %	Cont. de agua Prom. %	Peso tierra húmeda + cilindro Kg.	Peso tierra húmeda Kg.	$\frac{1}{1 + \omega}$	Peso tierra seca Kg.	Densidad seca Kg/m ³
1	I	109,03	101,57	17,83	7,46	83,74	8,91	8,91	10,548	4,820	0,9182	4,426	2125
2	10	109,03	101,57	17,77	7,46	83,80	8,90				0,9183		
3	C	79,94	73,11	18,22	6,83	54,89	12,44	12,44	10,775	5,047	0,8893	4,489	2155
4	B	86,69	79,00	17,18	7,69	61,82	12,44				0,8894		
5	13	118,94	106,41	18,04	12,53	88,37	14,18	14,18	10,618	4,890	0,8758	4,283	2056
6	16	114,43	102,97	17,96	11,46	85,01	13,48	13,48	10,618	4,890	0,8812	4,309	2069

CURVA DE COMPACTACIÓN



RESULTADOS

Densidad Seca Máxima

2180 Kg/m³

Humedad Optima

11,02 %

Observaciones :

Normas de Referencia:

ASTM D 1557-91

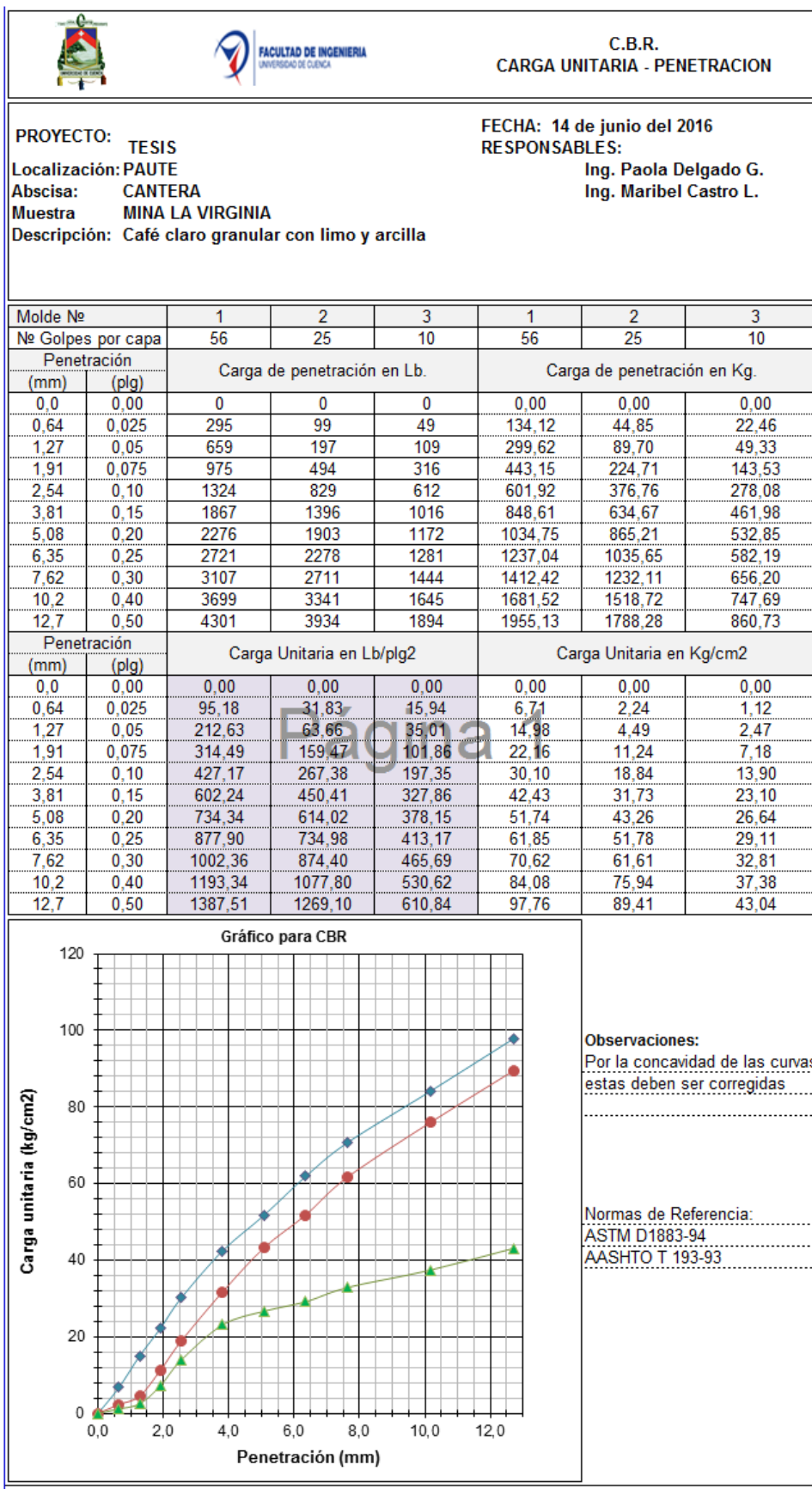
AASHTO T 180-93

OBSERVACIONES:

Se desecha la última muestra por arrojar resultados fuera de rango



DETERMINACIÓN DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO CON LA ADICIÓN DE PUZOLANA PARA VÍAS RURALES CON MATERIAL LOCAL DE LA MINA LA VIRGINIA Y ARAÑA HUAYCU		FACULTAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE CUENCA	C.B.R. REGISTRO
PROYECTO: TESIS		FECHA: 14 de junio del 2016	
Localización: PAUTE		RESPONSABLES:	
Abscisa: CANTERA		Ing. Paola Delgado G.	
Muestra: MINA LA VIRGINIA		Ing. Maribel Castro L.	
Descripción: Café claro granular con limo y arcilla			
Datos de los Moldes			
Peso del martillo = 10 Lbs		Altura caída del martillo = 18 plgs.	
Numero de capas = 5			
Molde № 56		Molde № 25	
Molde № 12			
Diámetro = 0,128 m	5,046 plgs.	0,128 m	5,046 plgs.
Altura = 0,1270 m	5,000 plgs.	0,1270 m	5,000 plgs.
Volumen = 0,002124 m ³		0,002132 m ³	0,002125 m ³
Molde	№	3	10
Golpes	№	56	25
ANTES DE INMERSIÓN			
Peso suelo húmedo + molde	Kg	11,203	11,186
Peso de molde	Kg	6,163	6,284
Peso suelo húmedo	Kg	5,040	4,902
Peso suelo seco	Kg	4,540	4,396
Densidad húmeda	Kg/m ³	2373	2299
Densidad Seca	Kg/m ³	2137	2062
		15	10
HUMEDAD			
Tarro №		3	10
Peso húmedo + recipiente	gr	79,97	87,51
Peso seco + recipiente	gr	73,68	80,65
Peso de agua	gr	6,29	6,86
Peso de recipiente	gr	17,18	17,77
Peso seco	gr	56,50	62,88
Contenido de agua	%	11,13	10,91
Promedio	%	11,02	11,51
LECTURAS DE HINCHAMIENTO			
Inicial	pulg	0,000	0,000
24 Horas	pulg	0,050	0,060
48 Horas	pulg	0,060	0,070
72 Horas	pulg	0,070	0,080
96 Horas	pulg	0,070	0,080
Expansión	%	1,40	1,60
DESPUÉS DE INMERSIÓN			
Peso suelo húmedo + molde	Kg	11,267	11,290
Peso de molde	Kg	6,163	6,284
Peso suelo húmedo	Kg	5,104	5,006
Peso suelo seco	Kg	4,566	4,387
Densidad húmeda	Kg/m ³	2403	2348
Densidad Seca.	Kg/m ³	2150	2058
		11	9
HUMEDAD			
Tarro №		6	4
Peso húmedo + recipiente	gr	78,48	88,24
Peso seco + recipiente	gr	72,08	80,73
Peso de agua	gr	6,40	7,51
Peso de recipiente	gr	16,91	17,99
Peso seco	gr	55,17	62,74
Contenido de agua	%	11,60	11,97
Promedio	%	11,78	14,11
Observaciones: NORMA : ASTM D 1883 -94 AASHTO T 193- 93			





CORRECCIÓN DE LA CURVA CBR

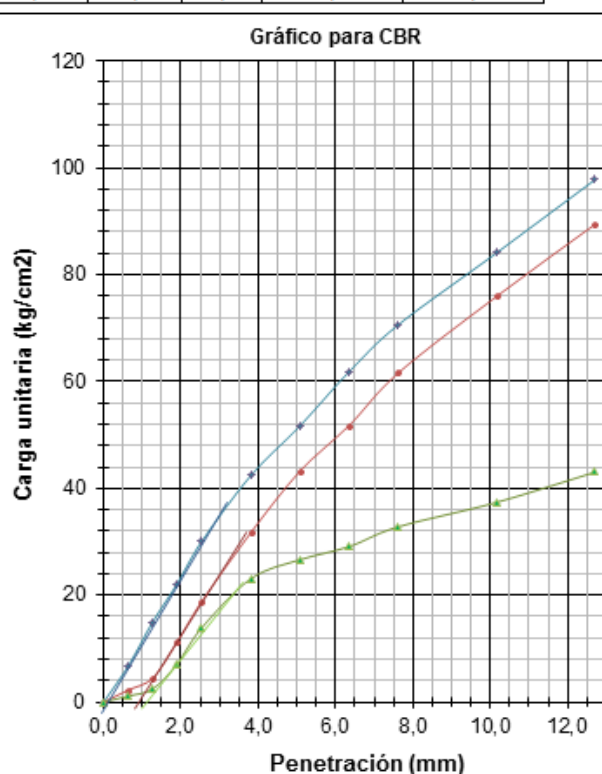
PROYECTO: TESIS
Localización: PAUTE
Abscisa: CANTERA
Muestra: MINA LA VIRGINIA
Descripción: Café claro granular con limo y arcilla

FECHA: 14 de junio del 2016
RESPONSABLES:
Ing. Paola Delgado G.
Ing. Maribel Castro L.

Nº Golpes por capa		56	25	10	
NUEVO	0	0,001	0,097	0,115	mm
		0,000	0,038	0,045	pulg

VALORES CORREGIDOS

PENETRACIÓN		CARGA UNITARIA		
mm	(pulg)	56	25	10
2,54	0,1	31,45	28,55	22,36
5,08	0,2	52,54	49,45	28,72



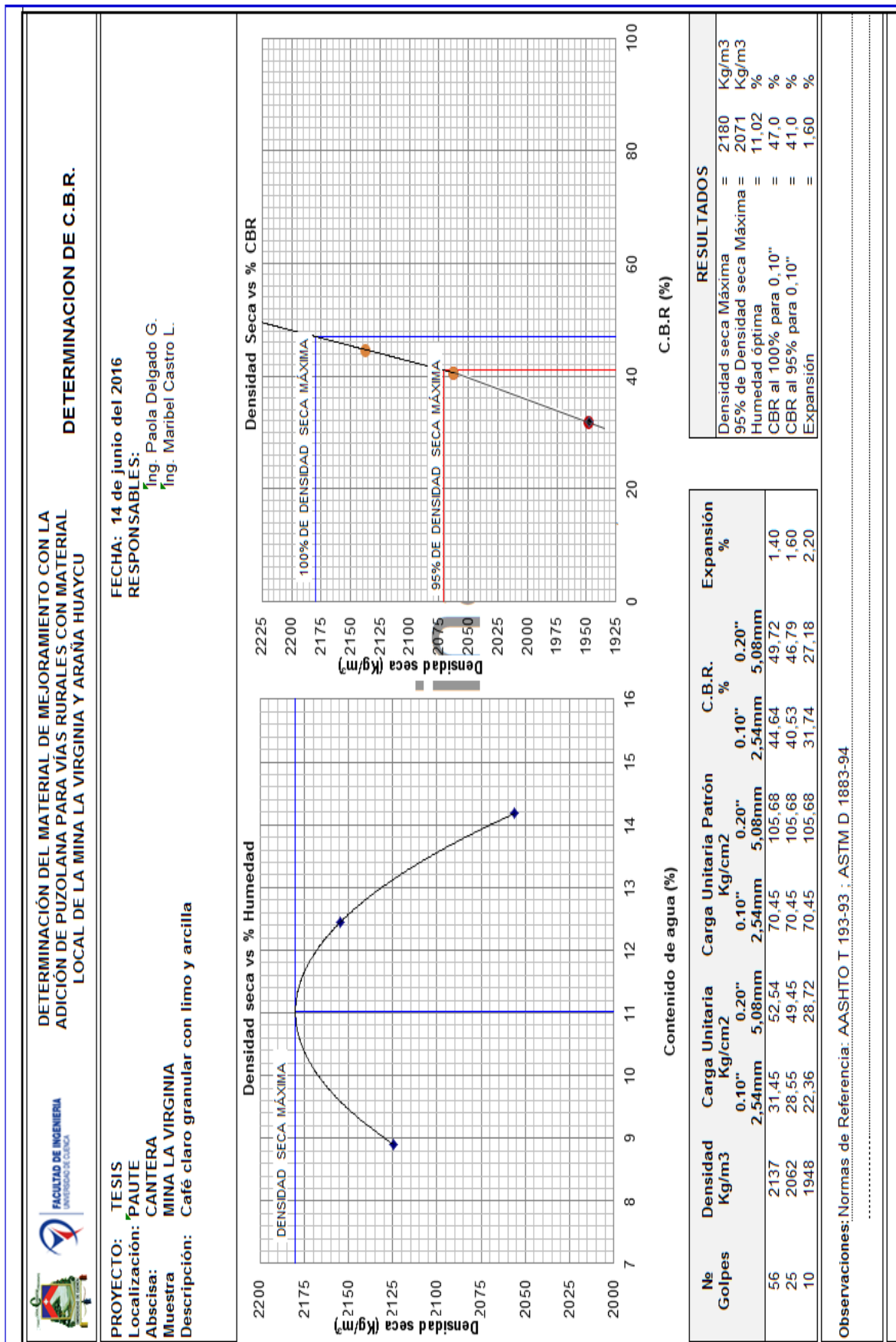
C.B.R. para 0,1" = 2,54 mm

Nº Golpes	56
Carga Unitaria (Kg/cm2)	31,45
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	70,45
C.B.R. (%)	44,64
Nº Golpes	25
Carga Unitaria (Kg/cm2)	28,55
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	70,45
C.B.R. (%)	40,53
Nº Golpes	10
Carga Unitaria (Kg/cm2)	22,36
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	70,45
C.B.R. (%)	31,74



C.B.R. para 0,2" = 5,08 mm

Nº Golpes	56
Carga Unitaria (Kg/cm2)	52,54
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	105,68
C.B.R. (%)	49,72
Nº Golpes	25
Carga Unitaria (Kg/cm2)	49,45
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	105,68
C.B.R. (%)	46,79
Nº Golpes	10
Carga Unitaria (Kg/cm2)	28,72
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	105,68
C.B.R. (%)	27,18

Observaciones:





		DETERMINACIÓN DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO CON LA ADICIÓN DE PUZOLANA PARA VÍAS RURALES CON MATERIAL LOCAL DE LA MINA LA VIRGINIA Y ARAÑA HUAYCU		 FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE CUENCA	
PROYEC	TESIS	FECHA: 14 de junio del 2016			
Localización:	PAUTE	RESPONSABLES:			
Abscisa:	CANtera	Ing. Paola Delgado G.			
Muestra	MINA LA VIRGINIA	Ing. Maribel Castro L.			
Descripción:	Café claro granular con limo y arc	Norma:	ASTM C 29		
PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS					
<u>SUELTO</u>					
DATOS		ENSAYOS			
		1	2	3	
Volumen del Recipiente (cm³) A		3.992	3.992	3.992	
Peso del Material (gr) B		7.063	6.749	6.453	
Peso Volumétrico (gr/cm³) B/A		1,769	1,691	1,616	
Peso Volumétrico Promedio Kg/m³		1,692 Kg/m³			
<u>COMPACTADO</u>					
DATOS		ENSAYOS			
		1	2	3	
Volumen del Recipiente (cm³) A		3.992	3.992	3.992	
Peso del Material (gr) B		7.493	7.832	7.857	
Peso Volumétrico (gr/cm³) B/A		1,877	1,962	1,968	
Peso Volumétrico Promedio Kg/m³		1,936 Kg/m³			



PUZOLANA MINA ARAÑA HUAYCU (PA)



MAESTRÍA EN VIALIDAD Y TRANSPORTES



UNIVERSIDAD DE CUENCA

DETERMINACIÓN DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO
CON LA ADICIÓN DE PUZOLANA PARA VÍAS RURALES
CON MATERIAL LOCAL DE LA MINA LA VIRGINIA Y ARAÑA
HUAYCU

FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE CUENCA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

PROYECTO: TESIS

ABCISA: CANTERA

FECHA: 28 de mayo del 2016

SECTOR: PAUTE

MUESTRA: MINA ARAÑA HUAYCU

RESPONSABLES: Ing. Paola Delgado G.
Ing. Maribel Castro L.

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN

GRANULOMETRÍA (ASTM D422)

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO PARCIAL (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
3"	76,20		-	-	
2 1/2"	63,50		-	-	
2"	50,80		-	-	
1 1/2"	38,10		-	-	
1"	25,40		-	-	
3/4"	19,00		-	-	
1/2"	12,70		-	-	
3/8"	9,53		-	-	
N°4	4,75		-	-	(100,00)
< N°4					
N°8	2,36				
N°10	2,00	109,00	109,00	21,80	78,20
N°40	0,425	146,00	255,00	51,00	49,00
N°50	0,30	40,00	295,00	59,00	41,00
N°100	0,15	66,00	361,00	72,20	27,80
N°200	0,075	46,00	407,00	81,40	(18,60)
< N°200		6			

GRAVA	0,00 %	GRANULOMETRÍA POR LAVADO
ARENA	81,40 %	PESO MUESTRA SECA 500 grms
FINOS	18,60 %	DESPUES DEL LAVADO 413 grms

CLASIFICACIÓN:

SUCS: Arena limosa

AASHTO: Fragmentos de roca, grava y arena

HUMEDAD NATURAL: 10,02 %

LÍMITE LÍQUIDO: 0,00 NP

ÍNDICE PLÁSTICO: 0,00

ÍNDICE DE GRUPO: 0,0

HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)

N° TARRO	N° GOLPES	PESO HÚMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO TARRO (gr)	% HUMEDAD	PROMEDIO (%)
4	----	150,39	141,46	52,33	10,02	
2A	----	147,86	138,37	43,74	10,03	10,02

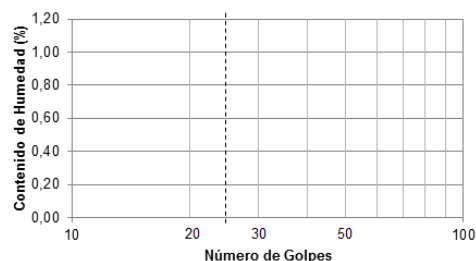
LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D4318)

N.P.

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318)

N.P.

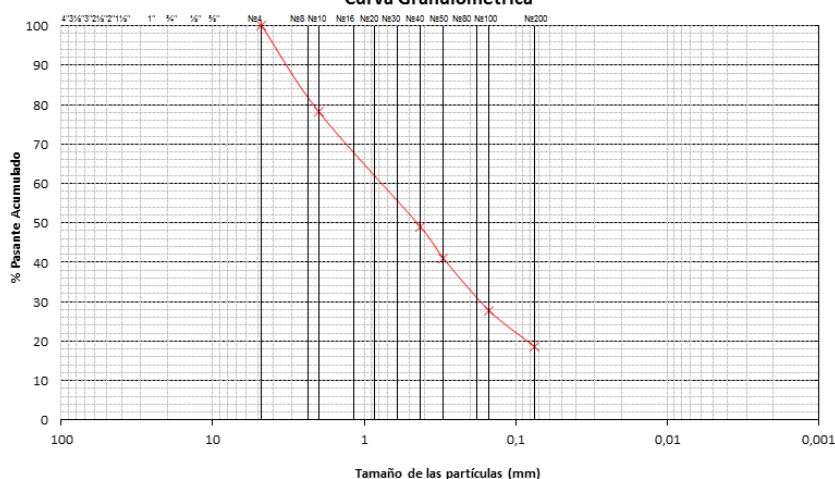
LÍMITE LÍQUIDO



OBSERVACIONES :

Descripción del material: Material fino color gris oscuro

Curva Granulométrica



**MAESTRÍA EN VIALIDAD Y TRANSPORTES**

DETERMINACIÓN DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO CON LA ADICIÓN DE
PUZOLANA PARA VÍAS RURALES CON MATERIAL LOCAL DE LA MINA LA VIRGINIA
Y ARAÑA HUAYCU

**RELACION HUMEDAD - DENSIDAD**

PROYECTO: TESIS

FECHA: 28 de mayo del 2016

RESPONSABLES: Ing. Paola Delgado G.
Ing. Maribel Castro L.

Localización: PAUTE

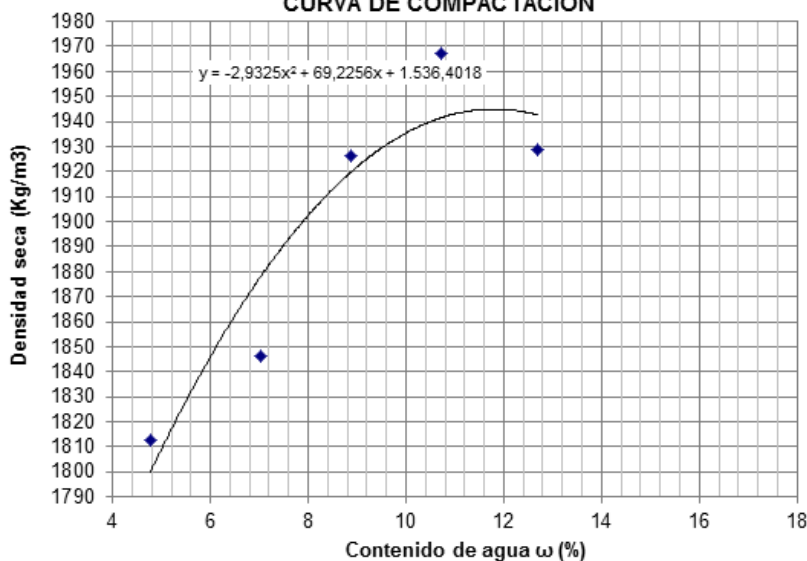
Abscisa: CANTERA

Muestra MINA ARAÑA HUAYCU

Descripción: Material fino color gris oscuro

ENSAYO PROCTOR:	MODIFICADO
Peso del cilindro	5,736 Kg.
Volumen del cilindro	0,0020980 m ³
Peso del martillo	10 Lbs.
Altura de caída del martillo	18 plgs.
Número de capas	5
Número de golpes/capa	56
Energía de compactación	56.695 lb-ft / ft ³

No.	Cáp. No.	Peso tierra húmeda + cáp. gr.	Peso tierra seca + cáp. gr.	Peso de cáp. gr.	Peso de agua gr.	Peso seco gr.	Cont. de agua %	Cont. de agua Prom. %	Peso tierra húmeda + cilindro Kg.	Peso tierra húmeda Kg.	$\frac{1}{1 + \omega}$	Peso tierra seca Kg.	Densidad seca Kg/m ³
1	2	85,18	82,08	17,15	3,10	64,93	4,77	4,77	9,721	3,985	0,9544	3,804	1813
2	5	79,21	76,44	18,31	2,77	58,13	4,77				0,9545		
3	4	84,01	79,75	17,68	4,26	62,07	6,86	7,01	9,881	4,145	0,9358	3,873	1846
4	80	81,64	77,38	17,93	4,26	59,45	7,17				0,9331		
5	6	81,00	75,83	18,03	5,17	57,80	8,94	8,87	10,136	4,400	0,9179	4,041	1926
6	24	74,68	70,07	17,68	4,61	52,39	8,80				0,9191		
7	16	71,02	65,83	17,96	5,19	47,87	10,84	10,73	10,306	4,570	0,9022	4,127	1967
8	23	75,82	70,27	18,00	5,55	52,27	10,62				0,9040		
9	21	73,08	66,82	17,92	6,26	48,90	12,80	12,68	10,296	4,560	0,8865	4,047	1929
10	13	75,76	69,32	18,04	6,44	51,28	12,56				0,8884		

CURVA DE COMPACTACIÓN**RESULTADOS**

Densidad Seca Máxima

1945 Kg/m³

Humedad Óptima

11,80 %

Observaciones :



Normas de Referencia:

ASTM D 1557-91

AASHTO T 180-93

OBSERVACIONES:



		DETERMINACIÓN DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO CON LA ADICIÓN DE PUZOLANA PARA VÍAS RURALES CON MATERIAL LOCAL DE LA MINA LA VIRGINIA Y ARAÑA HUAYCU		 FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE CUENCA	
PROYEC		TESIS		FECHA: 14 de junio del 2016	
Localización:		PAUTE		RESPONSABLES:	
Abscisa:		CANTERA		Ing. Paola Delgado G.	
Muestra		MINA LA VIRGINIA		Ing. Maribel Castro L.	
Descripción:		Café claro granular con limo y arc		Norma:	ASTM C 29
PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS					
<u>SUELTO</u>					
DATOS		ENSAYOS			
		1	2	3	
Volumen del Recipiente (cm³) A		3.992	3.992	3.992	
Peso del Material (gr) B		9.224	9.247	9.064	
Peso Volumétrico (gr/cm³) B/A		2.311	2.316	2.271	
Peso Volumétrico Promedio Kg/m³		2,299 Kg/m³			
<u>COMPACTADO</u>					
DATOS		ENSAYOS			
		1	2	3	
Volumen del Recipiente (cm³) A		3.992	3.992	3.992	
Peso del Material (gr) B		10.104	10.455	10.322	
Peso Volumétrico (gr/cm³) B/A		2.531	2.619	2.586	
Peso Volumétrico Promedio Kg/m³		2,579 Kg/m³			



MEZCLA MV 90/PA10 (90% MEJORAMIENTO Y 10% PUZOLANA)



MAESTRÍA EN VIALIDAD Y TRANSPORTES



UNIVERSIDAD DE CUENCA

DETERMINACIÓN DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO CON
LA ADICIÓN DE PUZOLANA PARA VÍAS RURALES CON
MATERIAL LOCAL DE LA MINA LA VIRGINIA Y ARAÑA HUAYCUFACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE CUENCA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

PROYECTO: TESIS

ABCISA : CANTERA

FECHA: 09 de julio del 2016

SECTOR: PAUTE

MUESTRA : 90% Mina la Virginia +10% Mina Araña H

RESPONSABLES: Ing. Paola Delgado G.

Ing. Maribel Castro L.

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN

GRANULOMETRÍA (ASTM D422)						HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)					
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO PARCIAL (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA	N° TARRO	N° GOLPES	PESO HÚMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO TARRO (gr)	% HUMEDAD
3"	76,20		-	-	100,00						
2 1/2"	63,50	748,00	748,00	7,48	92,52						
2"	50,80	749,00	1.497,00	14,97	85,03						
1 1/2"	38,10	562,00	2.059,00	20,59	79,41						
1"	25,40	1.893,00	3.952,00	39,52	60,48						
3/4"	19,00	840,00	4.792,00	47,92	52,08						
1/2"	12,70	1.536,00	6.328,00	63,28	36,72						
3/8"	9,53	656,00	6.984,00	69,84	30,16						
N°4	4,75	1.183,00	8.167,00	81,67	(18,33)						
< N°4		1.833,00									
N°8	2,36										
N°10	2,00	154,10	154,10	87,32	12,68						
N°40	0,425	111,80	265,90	91,42	8,58						
N°50	0,30										
N°100	0,15										
N°200	0,075	125,50	391,40	96,02	(3,98)						
< N°200		3,80									

LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D4318)					
3	40	36,00	31,58	17,18	30,69
27	30	33,82	29,95	17,91	32,14
35	20	34,08	30,00	17,72	33,22
26	14	31,56	27,83	17,18	35,02
					32,62

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318)					
14	----	7,09	6,93	6,16	20,78
7	----	7,17	7,02	6,31	21,13
20	----	7,59	7,37	6,34	21,36
					21,09

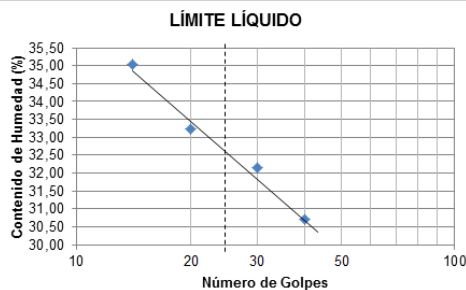
GRAVA	81,67 %	GRANULOMETRÍA POR LAVADO	
ARENA	14,35 %	PESO MUESTRA SECA	500 grms
FINOS	3,98 %	DESPUES DEL LAVADO	395,2 grms

CLASIFICACIÓN:

SUCS GP (Grava mal graduada con arena)

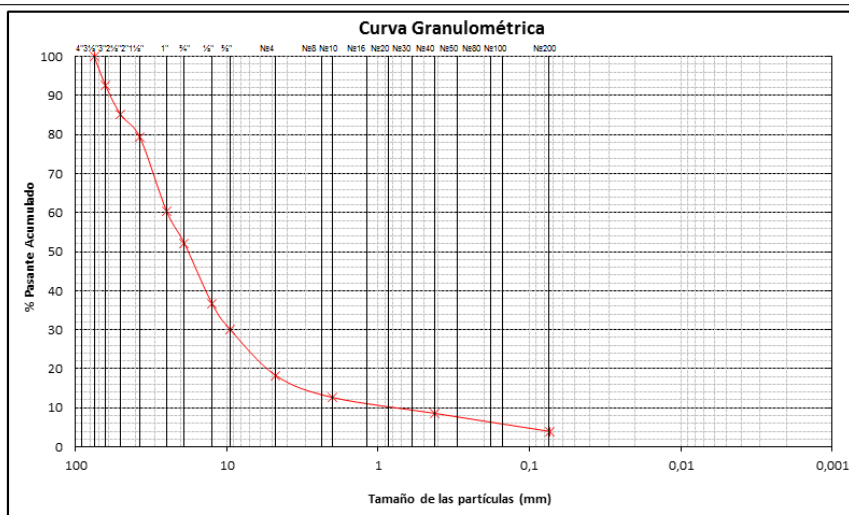
AASHTO A-2-6 grava y arena arcillosa o limosa

HUMEDAD NATURAL:	0,00 %
LÍMITE LÍQUIDO:	32,62
ÍNDICE PLÁSTICO:	11,53
ÍNDICE DE GRUPO:	0,0



OBSERVACIONES :

Descripción del material : Gris claro granular con limo y arcilla



**MAESTRÍA EN VIALIDAD Y TRANSPORTES**

DETERMINACIÓN DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO CON LA ADICIÓN DE
PUZOLANA PARA VÍAS RURALES CON MATERIAL LOCAL DE LA MINA LA
VIRGINIA Y ARAÑA HUAYCU

**RELACION HUMEDAD - DENSIDAD**

PROYECTO: TESIS

FECHA: 09 de julio del 2016

RESPONSABLES: Ing. Paola Delgado G.
Ing. Maribel Castro L.

Localización: PAUTE

Abscisa: CANTERA

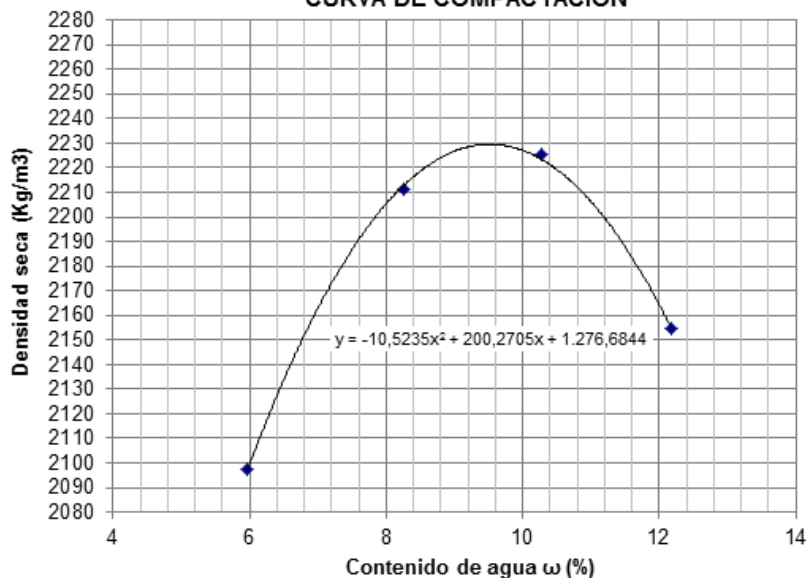
Muestra 90% Mina la Virginia +10% Mina Araña Huaycu

Descripción: Gris claro granular con limo y arcilla

ENSAYO PROCTOR: MODIFICADO

Peso del cilindro	5,728	Kg.
Volumen del cilindro	0,0020830	m3
Peso del martillo	10	Lbs.
Altura de caída del martillo	18	plgs.
Número de capas	5	
Número de golpes/capa	56	
Energía de compactación	57.103	lb-ft / ft3

No.	Cáp No.	Peso tierra húmeda + cáp.	Peso tierra seca + cáp.	Peso de cáp.	Peso de agua	Peso seco	Cont. de agua	Cont. de agua Prom.	Peso tierra húmeda + cilindro	Peso tierra húmeda	$\frac{1}{1 + \omega}$	Peso tierra seca	Densidad seca
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	%	%	Kg.	Kg.		Kg.	Kg/m ³
1	18	107,56	102,46	17,78	5,10	84,68	6,02	5,96	10,357	4,629	0,9437	4,369	2097
	10	116,27	110,78	17,77	5,49	93,01	5,90						
2	15	102,93	96,54	17,83	6,39	78,71	8,12	8,26	10,714	4,986	0,9237	4,606	2211
	19	100,03	93,66	17,82	6,37	75,84	8,40						
3	9	92,49	85,53	17,99	6,96	67,54	10,31	10,28	10,840	5,112	0,9068	4,635	2225
	4	87,89	81,36	17,68	6,53	63,68	10,25						
4	22	99,86	90,72	16,70	9,14	74,02	12,35	12,17	10,762	5,034	0,8915	4,488	2154
	7	94,91	86,65	17,81	8,26	68,84	12,00						

CURVA DE COMPACTACIÓN**RESULTADOS**

Densidad Seca Máxima

2230 Kg/m³

Humedad Óptima

9,52 %

Observaciones :



Normas de Referencia:

ASTM D 1557-91

AASHTO T 180-93

OBSERVACIONES:



 DETERMINACIÓN DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO CON LA ADICIÓN DE PUZOLANA PARA VÍAS RURALES CON MATERIAL LOCAL DE LA MINA LA VIRGINIA Y ARAÑA HUAYCU		 FACULTAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE CUENCA		C.B.R. REGISTRO			
PROYECTO:	TESIS		FECHA: 09 de julio del 2016				
Localización:	PAUTE		RESPONSABLES:				
Abscisa:	CANTERA		Ing. Paola Delgado G.				
Muestra	90% Mina la Virginia +10% Mina Araña Huaycu		Ing. Maribel Castro L.				
Descripción:	Gris claro granular con limo y arcilla						
Datos de los Moldes							
Peso del martillo = 10 Lbs		Altura caída del martillo = 18 plgs.		Numero de capas = 5			
	Molde №	56	Molde №	25	Molde №		
					12		
Diámetro =	0,128 m	5,046 plgs.	0,128 m	5,046 plgs.	0,128 m		
Altura =	0,1270 m	5,000 plgs.	0,1270 m	5,000 plgs.	0,1270 m		
Volumen =	0,002124 m³		0,002132 m³		0,002125 m³		
Molde	№	3	10	15			
Golpes	№	56	25	10			
ANTES DE INMERSIÓN							
Peso suelo húmedo + molde	Kg	11,296	11,257	10,890			
Peso de molde	Kg	6,163	6,284	6,231			
Peso suelo húmedo	Kg	5,133	4,973	4,659			
Peso suelo seco	Kg	4,683	4,537	4,257			
Densidad húmeda	Kg/m³	2417	2333	2192			
Densidad Seca	Kg/m³	2205	2128	2003			
HUMEDAD	Tarro №	5	11	8	20	15	
	Peso húmedo + recipiente	gr	85,18	87,50	90,12	83,01	85,18
	Peso seco + recipiente	gr	79,35	81,28	83,81	77,19	79,34
	Peso de agua	gr	5,83	6,22	6,31	5,82	5,84
	Peso de recipiente	gr	18,31	16,91	18,11	16,67	17,83
	Peso seco	gr	61,04	64,37	65,70	60,52	61,51
	Contenido de agua	%	9,55	9,66	9,60	9,62	9,49
	Promedio	%	9,61	9,61	9,61	9,46	
LECTURAS DE HINCHAMIENTO							
Inicial	pulg	0,000	0,000	0,000			
24 Horas	pulg	0,020	0,040	0,050			
48 Horas	pulg	0,030	0,040	0,070			
72 Horas	pulg	0,030	0,050	0,070			
96 Horas	pulg	0,030	0,050	0,070			
Expansión	%	0,60	1,00	1,40			
DESPUÉS DE INMERSIÓN							
Peso suelo húmedo + molde	Kg	11,330	11,335	11,025			
Peso de molde	Kg	6,163	6,284	6,231			
Peso suelo húmedo	Kg	5,167	5,051	4,794			
Peso suelo seco	Kg	4,672	4,527	4,213			
Densidad húmeda	Kg/m³	2433	2369	2256			
Densidad Seca	Kg/m³	2200	2123	1983			
HUMEDAD	Tarro №	10	26	24	1	35	
	Peso húmedo + recipiente	gr	105,82	96,89	99,45	94,71	96,85
	Peso seco + recipiente	gr	97,42	89,23	91,17	86,53	87,04
	Peso de agua	gr	8,40	7,66	8,28	8,18	9,81
	Peso de recipiente	gr	17,77	17,18	17,68	17,70	17,72
	Peso seco	gr	79,65	72,05	73,49	68,83	69,32
	Contenido de agua	%	10,55	10,63	11,27	11,88	14,15
	Promedio	%	10,59	11,58	13,79		
Observaciones:	NORMA : ASTM D 1883 -94 AASHTO T 193- 93						



		C.B.R. CARGA UNITARIA - PENETRACION
PROYECTO: TESIS		
FECHA: 09 de julio del 2016		
RESPONSABLES:		
Localización: PAUTE		Ing. Paola Delgado G.
Abscisa: CANTERA		Ing. Maribel Castro L.
Muestra: 90% Mina la Virginia +10% Mina Araña Huaycu		
Descripción: gris claro granular con limo y arcilla		

Molde №	3	10	15	3	10	15
№ Golpes por capa	56	25	10	56	25	10

Penetración		Carga de penetración en Lb.			Carga de penetración en Kg.		
(mm)	(plg)						
0,0	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0,00
0,64	0,025	253	227	117	114,83	103,24	53,38
1,27	0,05	769	638	283	349,40	289,82	128,73
1,91	0,075	1245	947	464	566,05	430,29	210,81
2,54	0,10	1593	1177	670	723,92	535,09	304,55
3,81	0,15	2220	1510	1150	1009,19	686,28	522,53
5,08	0,20	2743	1765	1455	1246,90	802,20	661,29
6,35	0,25	3168	2065	1653	1439,78	938,76	751,29
7,62	0,30	3540	2458	1798	1608,89	1117,28	817,22
10,2	0,40	4168	3153	2062	1894,58	1433,05	937,43
12,7	0,50	4737	3895	2337	2153,39	1770,34	1062,12

Penetración		Carga Unitaria en Lb/plg2			Carga Unitaria en Kg/cm2		
(mm)	(plg)						
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,64	0,025	81,49	73,27	37,88	5,74	5,16	2,67
1,27	0,05	247,96	205,68	91,36	17,47	14,49	6,44
1,91	0,075	401,71	305,37	149,61	28,30	21,51	10,54
2,54	0,10	513,75	379,74	216,13	36,20	26,75	15,23
3,81	0,15	716,20	487,04	370,83	50,46	34,31	26,13
5,08	0,20	884,90	569,30	469,30	62,35	40,11	33,06
6,35	0,25	1021,78	666,22	533,17	71,99	46,94	37,56
7,62	0,30	1141,79	792,91	579,96	80,44	55,86	40,86
10,2	0,40	1344,54	1017,00	665,27	94,73	71,65	46,87
12,7	0,50	1528,21	1256,37	753,76	107,67	88,52	53,11

Gráfico para CBR

Observaciones:
Por la concavidad de las curvas, estas deben ser corregidas

Normas de Referencia:
ASTM D1883-94
AASHTO T 193-93

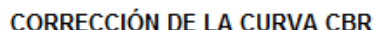
Observaciones:

Por la concavidad de las curvas, estas deben ser corregidas

Normas de Referencia:

ASTM D1883-94

AASHTO T 193-93

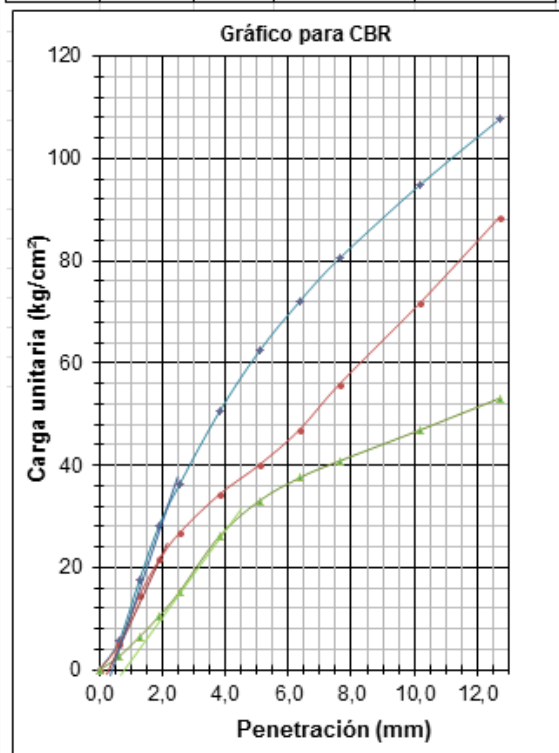


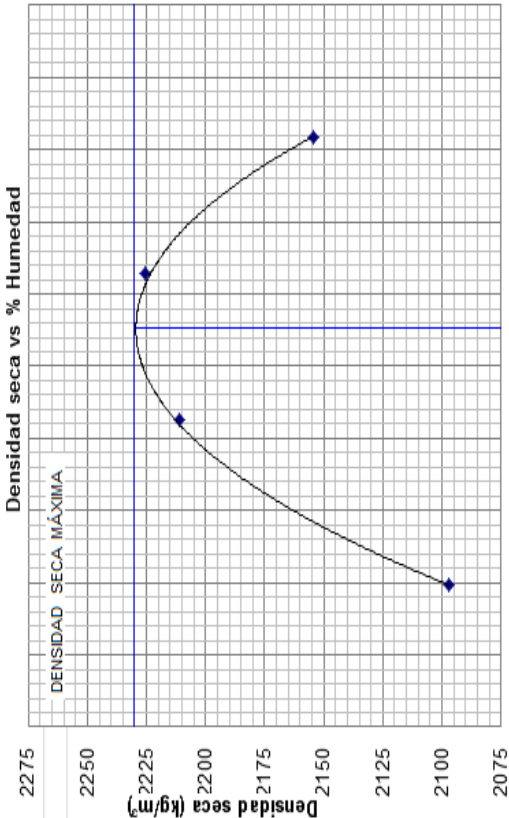
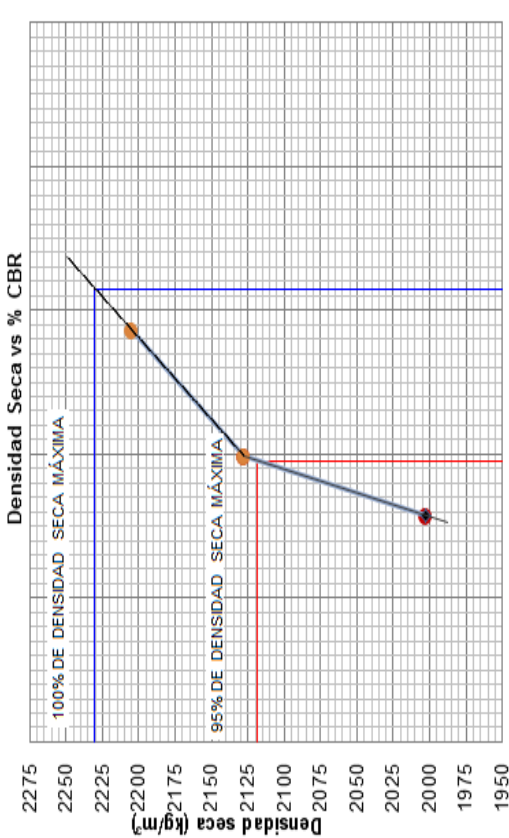
FECHA: 09 de julio del 2016
RESPONSABLES:
Ing. Paola Delgado G.
Ing. Maribel Castro L.

VALORES CORREGIDOS

C.B.R. para 0,1" = 2,54 mm

C.B.R. para 0,2" = 5,08 mm

Observaciones:

FACULTAD DE INGENIERIA INTEGRACIÓN		DETERMINACIÓN DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO CON LA ADICIÓN DE PUZOLANA PARA VÍAS RURALES CON MATERIAL LOCAL DE LA MINA LA VIRGINIA Y ARAÑA HUAYCU		DETERMINACION DE C.B.R.																																													
PROYECTO: TESIS Localización: PAUTE Abscisa: CANTERA Muestra: 90% Mina la Virginia +10% Mina Araña Huaycu Descripción: gris claro granular con limo y arcilla		FECHA: 09 de julio del 2016 RESPONSABLES: Ing. Paola Delgado G. Ing. Maribel Castro L.																																															
																																																	
Contenido de agua (%)		C.B.R. (%)																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Nº Golpes</th> <th>Densidad Kg/m3</th> <th>Carga Unitaria Kg/cm2</th> <th>Carga Unitaria Patrón Kg/cm2</th> <th>C.B.R. %</th> <th>Expansión %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>56</td> <td>2205</td> <td>2,54mm 40,37</td> <td>0,10" 5,08mm 65,11</td> <td>0,20" 2,54mm 57,30</td> <td>0,20" 5,08mm 61,61</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>2128</td> <td>28,05</td> <td>41,22</td> <td>70,45</td> <td>105,68</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>2003</td> <td>22,22</td> <td>35,26</td> <td>70,45</td> <td>105,68</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>31,54</td> <td>33,36</td> </tr> </tbody> </table>		Nº Golpes	Densidad Kg/m3	Carga Unitaria Kg/cm2	Carga Unitaria Patrón Kg/cm2	C.B.R. %	Expansión %	56	2205	2,54mm 40,37	0,10" 5,08mm 65,11	0,20" 2,54mm 57,30	0,20" 5,08mm 61,61	25	2128	28,05	41,22	70,45	105,68	10	2003	22,22	35,26	70,45	105,68					31,54	33,36	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">RESULTADOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Densidad seca Máxima</td> <td>= 2230 Kg/m3</td> </tr> <tr> <td>95% de Densidad seca Máxima</td> <td>= 2119 Kg/m3</td> </tr> <tr> <td>Humedad óptima</td> <td>= 9,52 %</td> </tr> <tr> <td>CBR al 100% para 0,10"</td> <td>= 63,0 %</td> </tr> <tr> <td>CBR al 95% para 0,10"</td> <td>= 39,0 %</td> </tr> <tr> <td>Expansión</td> <td>= 1,00 %</td> </tr> </tbody> </table>				RESULTADOS		Densidad seca Máxima	= 2230 Kg/m3	95% de Densidad seca Máxima	= 2119 Kg/m3	Humedad óptima	= 9,52 %	CBR al 100% para 0,10"	= 63,0 %	CBR al 95% para 0,10"	= 39,0 %	Expansión	= 1,00 %
Nº Golpes	Densidad Kg/m3	Carga Unitaria Kg/cm2	Carga Unitaria Patrón Kg/cm2	C.B.R. %	Expansión %																																												
56	2205	2,54mm 40,37	0,10" 5,08mm 65,11	0,20" 2,54mm 57,30	0,20" 5,08mm 61,61																																												
25	2128	28,05	41,22	70,45	105,68																																												
10	2003	22,22	35,26	70,45	105,68																																												
				31,54	33,36																																												
RESULTADOS																																																	
Densidad seca Máxima	= 2230 Kg/m3																																																
95% de Densidad seca Máxima	= 2119 Kg/m3																																																
Humedad óptima	= 9,52 %																																																
CBR al 100% para 0,10"	= 63,0 %																																																
CBR al 95% para 0,10"	= 39,0 %																																																
Expansión	= 1,00 %																																																
Observaciones: Normas de Referencia: AASHTO T 193-93 ; ASTM D 1883-94																																																	



CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

PROYECTO: TESIS
Localización: PAUTE
Abscisa: CANTERA
Muestra: 90% Mina la Virginia +10% Mina Araña Huaycu
Descripción: gris claro granular con limo y arcilla

FECHA: 06 de agosto del 2016

RESPONSABLES:

Ing. Paola Delgado G.

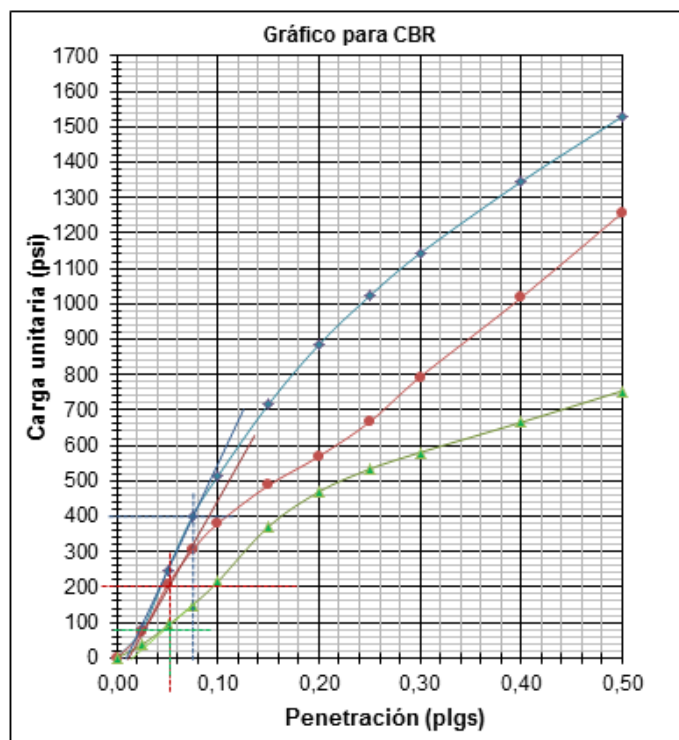
Ing. Maribel Castro L.

Nº Golpes por capa		56	25	10
NUEVO	0	0,0141	0,009	0,03

pulg

L= 5 Pulg

	CARGA UNITARIA		
	56	25	10
σ (kg/cm ²)	401,71	205,68	91,36
ΔL (pulg)	0,0639	0,0408	0,02
$\Delta L/L$	0,0128	0,0082	0,004
MR (lb/pulg ²)=	31440	25206	22840

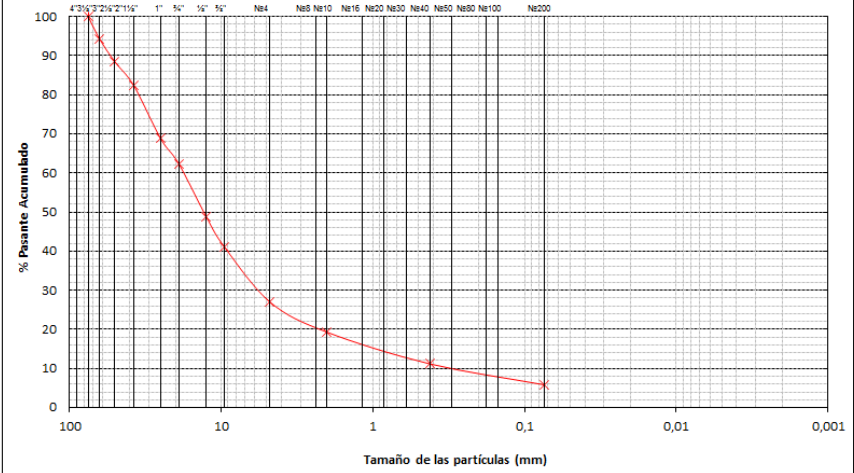
MR= 31440 lb/pulg²

Observaciones:



MEZCLA MV 80/PA20 (80% MEJORAMIENTO Y 20% PUZOLANA)



MAESTRÍA EN VIALIDAD Y TRANSPORTES						
 UNIVERSIDAD DE CUENCA	DETERMINACIÓN DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO CON LA ADICIÓN DE PUZOLANA PARA VÍAS RURALES CON MATERIAL LOCAL DE LA MINA LA VIRGINIA Y ARAÑA HUAYCU				 FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE CUENCA	
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES						
PROYECTO: TESIS		ABCISA: CANTERA		FECHA: 16 de julio del 2016		
SECTOR: PAUTE		MUESTRA: 80% Mina la Virginia +20% Mina Araña H		RESPONSABLES: Ing. Paola Delgado G. Ing. Maribel Castro L.		
ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN						
GRANULOMETRÍA (ASTM D422)					HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)	
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO PARCIAL (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA	
3"	76,20		-	-	100,00	
2 1/2"	63,50	584,00	584,00	5,84	94,16	
2"	50,80	575,00	1.159,00	11,59	88,41	
1 1/2"	38,10	612,00	1.771,00	17,71	82,29	
1"	25,40	1.350,00	3.121,00	31,21	68,79	
3/4"	19,00	641,00	3.762,00	37,62	62,38	
1/2"	12,70	1.358,00	5.120,00	51,20	48,80	
3/8"	9,53	771,00	5.891,00	58,91	41,09	
Nº4	4,75	1.410,00	7.301,00	73,01	(26,99)	
< Nº4		2.699,00				
Nº8	2,36					
Nº10	2,00	142,70	142,70	80,71	19,29	
Nº40	0,425	150,10	292,80	88,82	11,18	
Nº50	0,30					
Nº100	0,15					
Nº200	0,075	99,40	392,20	94,18	(5,82)	
< Nº200		2				
GRAVA 73,01 %		GRANULOMETRÍA POR LAVADO				
ARENA 21,17 %		PESO MUESTRA SECA 500 grms				
FINOS 5,82 %		DESPUES DEL LAVADO 394,2 grms				
CLASIFICACION:						
SUCS	GP GC grava mal graduada con arcilla con arena					
AASHTO	A-2-4 grava y arena arcillosa o limosa					
HUMEDAD NATURAL:		0,00 %				
LÍMITE LÍQUIDO:		29,84				
ÍNDICE PLÁSTICO:		8,64				
ÍNDICE DE GRUPO:		0,0				
OBSERVACIONES :						
Descripción del material : Gris claro granular con limo y arcilla						
Curva Granulométrica						
						

**MAESTRÍA EN VIALIDAD Y TRANSPORTES**

DETERMINACIÓN DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO CON LA ADICIÓN DE
PUZOLANA PARA VÍAS RURALES CON MATERIAL LOCAL DE LA MINA LA
VIRGINIA Y ARAÑA HUAYCU

**RELACION HUMEDAD - DENSIDAD**

PROYECTO: TESIS

FECHA: 16 de julio del 2016

RESPONSABLES: Ing. Paola Delgado G.
Ing. Maribel Castro L.

Localización: PAUTE

Abscisa: CANTERA

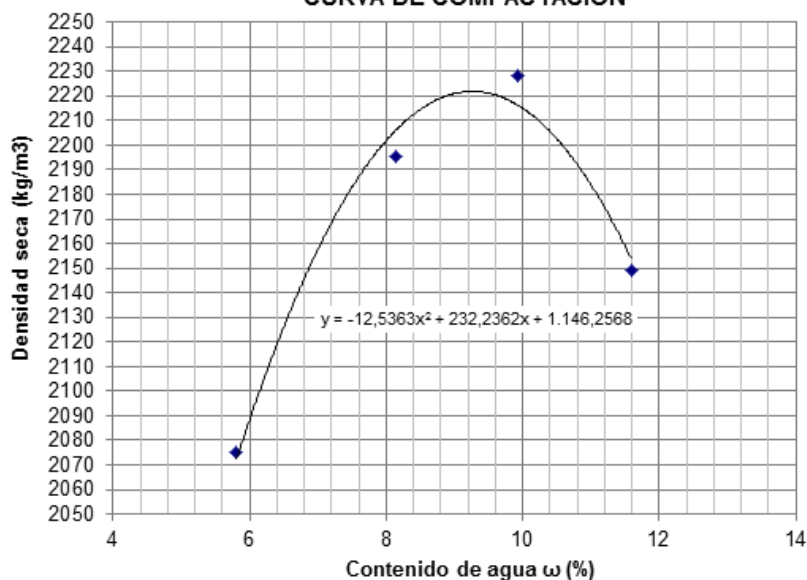
Muestra 80% Mina la Virginia +20% Mina Araña Huaycu

Descripción: Gris claro granular con limo y arcilla

ENSAYO PROCTOR: MODIFICADO

Peso del cilindro	5,728	Kg.
Volumen del cilindro	0,0020830	m ³
Peso del martillo	10	Lbs.
Altura de caída del martillo	18	plgs.
Número de capas	5	
Número de golpes/capa	56	
Energía de compactación	57.103	lb-ft / ft ³

No.	Cáp. No.	Peso tierra húmeda + cáp.	Peso tierra seca + cáp.	Peso de cáp.	Peso de agua	Peso seco	Cont. de agua	Cont. de agua Prom.	Peso tierra húmeda + cilindro	Peso tierra húmeda	$\frac{1}{1 + \omega}$	Peso tierra seca	Densidad seca
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	%	%	Kg.	Kg.		Kg.	Kg/m ³
1	5	88,94	84,99	18,31	3,95	66,68	5,92	5,81	10,302	4,574	0,9451	4,323	2075
	9	95,32	91,15	17,99	4,17	73,16	5,70						
2	18	105,26	98,77	17,78	6,49	80,99	8,01	8,13	10,673	4,945	0,9248	4,573	2195
	4	96,49	90,48	17,68	6,01	72,80	8,26						
3	19	96,54	89,52	17,82	7,02	71,70	9,79	9,93	10,831	5,103	0,9096	4,642	2228
	10	105,58	97,54	17,77	8,04	79,77	10,08						
4	22	93,68	85,75	16,70	7,93	69,05	11,48	11,59	10,724	4,996	0,8961	4,477	2149
	15	104,27	95,22	17,83	9,05	77,39	11,69						

CURVA DE COMPACTACIÓN**RESULTADOS**

Densidad Seca Máxima

2222 Kg/m³

Humedad Óptima

9,26 %

Observaciones :

Normas de Referencia:

ASTM D 1557-91

AASHTO T 180-93

OBSERVACIONES:



DETERMINACIÓN DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO CON LA ADICIÓN DE PUZOLANA PARA VÍAS RURALES CON MATERIAL LOCAL DE LA MINA LA VIRGINIA Y ARAÑA HUAYCU		FACULTAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE CUENCA		C.B.R. REGISTRO			
PROYECTO: TESIS			FECHA: 16 de julio del 2016				
Localización: PAUTE			RESPONSABLES:				
Abscisa: CANTERA			Ing. Paola Delgado G.				
Muestra: 80% Mina la Virginia +20% Mina Araña Huaycu			Ing. Maribel Castro L.				
Descripción: Gris claro granular con limo y arcilla							
Datos de los Moldes							
Peso del martillo = 10 Lbs		Altura caída del martillo = 18 plgs.		Numero de capas = 5			
Molde №		Molde №		Molde №			
56		25		12			
Diámetro =	0,128 m	5,046 plgs.	0,128 m	5,046 plgs.	0,128 m 5,046 plgs.		
Altura =	0,1270 m	5,000 plgs.	0,1270 m	5,000 plgs.	0,1270 m 5,000 plgs.		
Volumen =	0,002107 m³		0,002123 m³		0,002130 m³		
Molde		№		№			
		2		11			
Golpes		№		№			
		56		25			
				4			
				10			
ANTES DE INMERSIÓN							
Peso suelo húmedo + molde		Kg	11,221	11,111	10,814		
Peso de molde		Kg	6,159	6,173	6,178		
Peso suelo húmedo		Kg	5,062	4,938	4,636		
Peso suelo seco		Kg	4,607	4,535	4,255		
Densidad húmeda		Kg/m3	2402	2326	2177		
Densidad Seca		Kg/m3	2187	2136	1998		
HUMEDAD	Tarro №		18	15	11	4	
	Peso húmedo + recipiente	gr	100,12	105,69	89,41	96,87	100,03
	Peso seco + recipiente	gr	92,71	97,81	83,49	90,41	93,25
	Peso de agua	gr	7,41	7,88	5,92	6,46	6,78
	Peso de recipiente	gr	17,78	17,83	16,91	17,68	17,70
	Peso seco	gr	74,93	79,98	66,58	72,73	75,55
	Contenido de agua	%	9,89	9,85	8,89	8,88	8,97
	Promedio	%		9,87	8,89		8,96
LECTURAS DE HINCHAMIENTO							
Inicial	pulg		0,000	0,000	0,000		
24 Horas	pulg		0,020	0,040	0,050		
48 Horas	pulg		0,030	0,040	0,050		
72 Horas	pulg		0,030	0,050	0,060		
96 Horas	pulg		0,030	0,050	0,060		
Expansión	%		0,60	1,00	1,20		
DESPUÉS DE INMERSIÓN							
Peso suelo húmedo + molde		Kg	11,264	11,198	10,942		
Peso de molde		Kg	6,159	6,173	6,178		
Peso suelo húmedo		Kg	5,105	5,025	4,764		
Peso suelo seco		Kg	4,627	4,549	4,279		
Densidad húmeda		Kg/m3	2423	2367	2237		
Densidad Seca.		Kg/m3	2196	2143	2009		
HUMEDAD	Tarro №		35	10	2	24	
	Peso húmedo + recipiente	gr	90,15	100,62	96,78	94,36	104,15
	Peso seco + recipiente	gr	83,33	92,89	89,32	87,08	95,49
	Peso de agua	gr	6,82	7,73	7,46	7,28	8,66
	Peso de recipiente	gr	17,72	17,77	17,75	17,68	17,18
	Peso seco	gr	65,61	75,12	71,57	69,40	78,31
	Contenido de agua	%	10,39	10,29	10,42	10,49	11,06
	Promedio	%		10,34	10,46		11,32
Observaciones: 'NORMA : ASTM D 1883 -94 AASHTO T 193- 93							



PROYECTO: TESIS

FECHA: 16 de julio del 2016

Localización: PAUTE

RESPONSABLES:

Abscisa: CANTERA

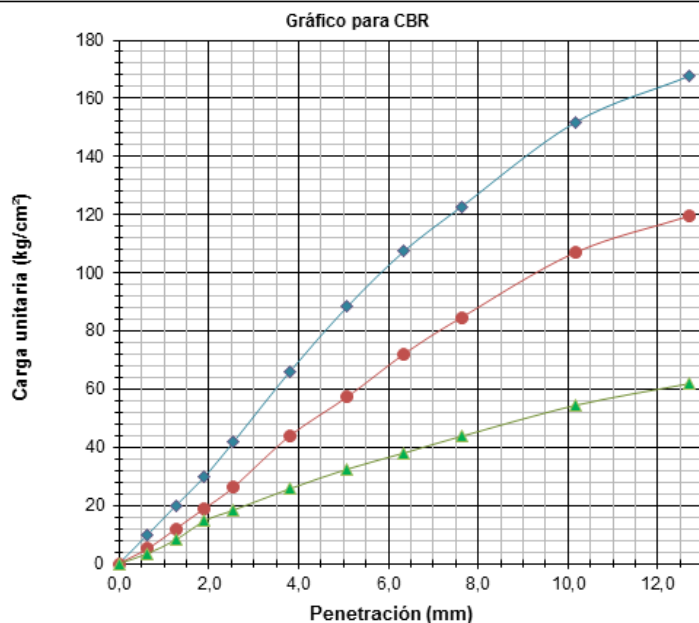
Ing. Paola Delgado G.

Muestra 80% Mina la Virginia +20% Mina Araña Huaycu

Ing. Maribel Castro L.

Descripción: Gris claro granular con limo y arcilla

Molde Nº	3	10	15	3	10	15
Nº Golpes por capa	56	25	10	56	25	10
Penetración		Carga de penetración en Lb.			Carga de penetración en Kg.	
(mm)	(plg)					
0,0	0,00	0	0	0	0,00	0,00
0,64	0,025	437	225	151	198,64	102,27
1,27	0,05	881	527	362	400,45	239,55
1,91	0,075	1316	836	646	598,18	380,00
2,54	0,10	1833	1149	806	833,18	522,27
3,81	0,15	2908	1935	1132	1321,82	879,55
5,08	0,20	3885	2521	1428	1765,91	1145,91
6,35	0,25	4727	3172	1673	2148,64	1441,82
7,62	0,30	5397	3722	1924	2453,18	1691,82
10,2	0,40	6677	4706	2393	3035,00	2139,09
12,7	0,50	7379	5260	2723	3354,09	2390,91
Penetración		Carga Unitaria en Lb/plg ²			Carga Unitaria en Kg/cm ²	
(mm)	(plg)					
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,64	0,025	139,09	71,74	48,17	9,93	5,11
1,27	0,05	280,55	167,85	115,22	20,02	11,98
1,91	0,075	418,77	266,15	205,74	29,91	19,00
2,54	0,10	583,43	365,65	256,55	41,66	26,11
3,81	0,15	925,52	616,05	360,36	66,09	43,98
5,08	0,20	1236,60	802,41	454,68	88,30	57,30
6,35	0,25	1504,60	1009,77	532,41	107,43	72,09
7,62	0,30	1717,86	1184,61	612,30	122,66	84,59
10,2	0,40	2125,48	1498,07	761,77	151,75	106,95
12,7	0,50	2348,68	1674,17	866,61	167,70	119,55





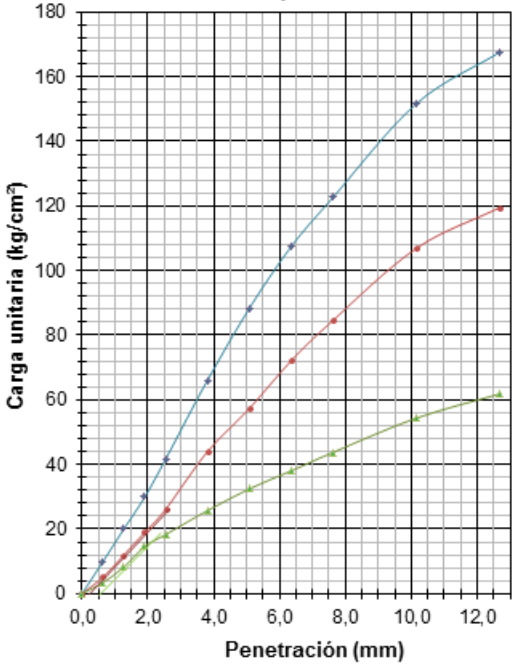
Observaciones:

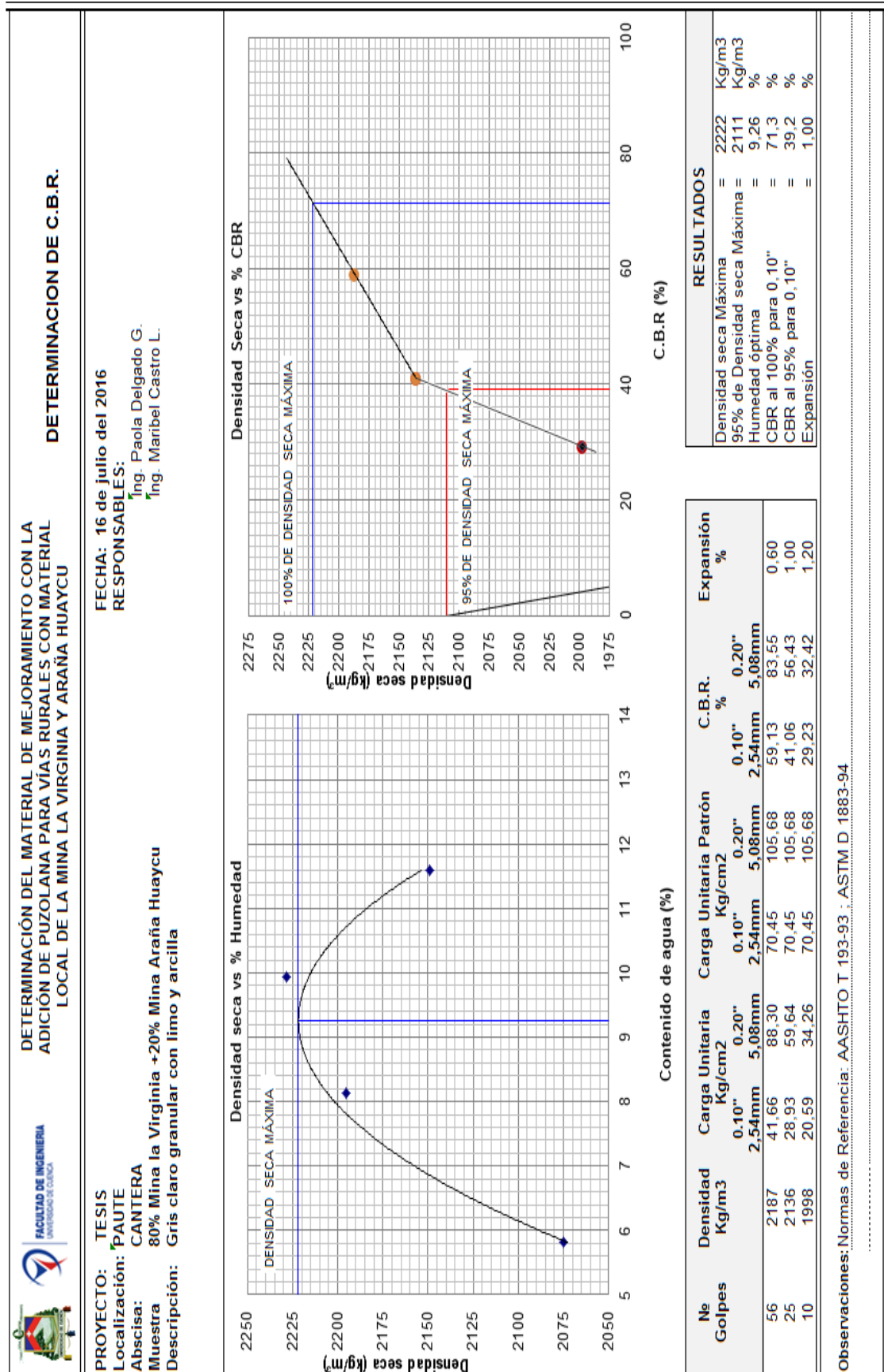
Por la concavidad de las curvas,
estas deben ser corregidas

Normas de Referencia:

ASTM D1883-94

AASHTO T 193-93

 		CORRECCIÓN DE LA CURVA CBR	
PROYECTO: Localización: Abscisa: Muestra: Descripción:		TESIS PAUTE CANTERA MINA LA VIRGINIA Gris claro granular con limo y arcilla	
		FECHA: 16 de julio del 2016 RESPONSABLES: Ing. Paola Delgado G. Ing. Maribel Castro L.	
Nº Golpes por capa		56	25
NUEVO		0	0
		0,000	0,018
		0	0,007
		0,051	0,02
		mm	
		pulg	
VALORES CORREGIDOS			
PENETRACIÓN		CARGA UNITARIA	
mm	(pulg)	56	25
2,54	0,1	41,66	28,93
5,08	0,2	88,30	59,64
		10	20,59
		34,26	
Gráfico para CBR			
			
C.B.R. para 0,1" = 2,54 mm			
Nº Golpes		56	
Carga Unitaria (Kg/cm2)		41,66	
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)		70,45	
C.B.R. (%)		59,13	
Nº Golpes		25	
Carga Unitaria (Kg/cm2)		28,93	
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)		70,45	
C.B.R. (%)		41,06	
Nº Golpes		10	
Carga Unitaria (Kg/cm2)		20,59	
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)		70,45	
C.B.R. (%)		29,23	
C.B.R. para 0,2" = 5,08 mm			
Nº Golpes		56	
Carga Unitaria (Kg/cm2)		88,30	
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)		105,68	
C.B.R. (%)		83,55	
Nº Golpes		25	
Carga Unitaria (Kg/cm2)		59,64	
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)		105,68	
C.B.R. (%)		56,43	
Nº Golpes		10	
Carga Unitaria (Kg/cm2)		34,26	
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)		105,68	
C.B.R. (%)		32,42	
Observaciones:			
.....			





CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

PROYECTO: TESIS
Localización: PAUTE
Abscisa: CANTERA
Muestra: 80% Mina la Virginia +20% Mina Araña Huaycu
Descripción: gris claro granular con limo y arcilla

FECHA: 06 de agosto del 2016

RESPONSABLES:

Ing. Paola Delgado G.

Ing. Maribel Castro L.

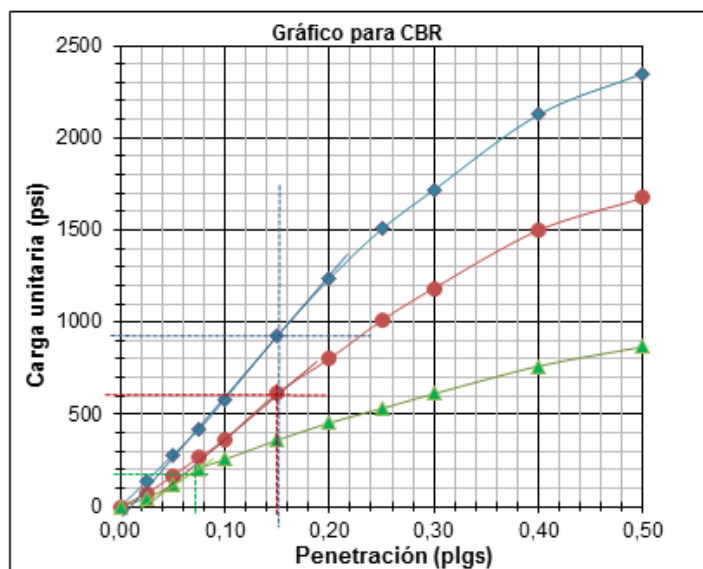
Nº Golpes por capa	56	25	10
NUEVO	0	0	0,007
			0,02

pulg

L= 5 pulg

	CARGA UNITARIA		
	56	25	10
σ (lb/pulg ²)	925,52	616,05	205,74
ΔL (pulg)	0,139	0,143	0,055
$\Delta L/L$	0,0278	0,0286	0,011
MR (lb/pulg ²)=	33292	21540	18704

MR =	33292	lb/pulg ²
------	-------	----------------------



Observaciones:



MEZCLA MV 70/PA30 (70% MEJORAMIENTO Y 30% PUZOLANA)



MAESTRÍA EN VIALIDAD Y TRANSPORTES						
 UNIVERSIDAD DE CUENCA	DETERMINACIÓN DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO CON LA ADICIÓN DE PUZOLANA PARA VÍAS RURALES CON MATERIAL LOCAL DE LA MINA LA VIRGINIA Y ARAÑA HUAYCU				 FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE CUENCA	
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES						
PROYECTO: TESIS SECTOR: PAUTE		ABCISA : CANTERA MUESTRA : 70% Mina la Virginia + 30% Mina Araña Huaycu		FECHA: 06 de agosto del 2016 RESPONSABLES: Ing. Paola Delgado G. Ing. Maribel Castro L.		
ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN						
GRANULOMETRÍA (ASTM D422)						
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO PARCIAL (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA	
3"	76,20		-	-	100,00	
2 1/2"	63,50	533,00	533,00	5,33	94,67	
2"	50,80	188,00	721,00	7,21	92,79	
1 1/2"	38,10	194,00	915,00	9,15	90,85	
1"	25,40	1.690,00	2.605,00	26,05	73,95	
3/4"	19,00	987,00	3.592,00	35,92	64,08	
1/2"	12,70	1.248,00	4.840,00	48,40	51,60	
3/8"	9,53	591,00	5.431,00	54,31	45,69	
N°4	4,75	1.401,00	6.832,00	68,32	(31,68)	
< N°4		3.168,00				
N°8	2,36					
N°10	2,00	105,00	105,00	74,97	25,03	
N°40	0,425	140,40	245,40	83,87	16,13	
N°50	0,30					
N°100	0,15					
N°200	0,075	124,80	370,20	91,78	(8,22)	
< N°200		3,30				
GRAVA 68,32 % ARENA 23,46 % FINOS 8,22 %		GRANULOMETRIA POR LAVADO PESO MUESTRA SECA 500 grms DESPUES DEL LAVADO 373,5 grms				
CLASIFICACION:						
SUCS		GP GC Grava mal graduada con arcilla con arena				
AASHTO		A-2-4 Grava y Arena arcillosa o limosa				
HUMEDAD NATURAL:		0,00 %				
LIMITE LIQUIDO:		29,18				
INDICE PLASTICO:		8,37				
INDICE DE GRUPO:		0,0				
OBSERVACIONES :						
Descripción del material : Gris claro granular con limo y arcilla						
Curva Granulométrica						

**MAESTRÍA EN VIALIDAD Y TRANSPORTES**

DETERMINACIÓN DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO CON LA ADICIÓN DE
PUZOLANA PARA VÍAS RURALES CON MATERIAL LOCAL DE LA MINA LA
VIRGINIA Y ARAÑA HUAYCU

**RELACION HUMEDAD - DENSIDAD**

PROYECTO: TESIS

FECHA: 06 de agosto del 2016

RESPONSABLES: Ing. Paola Delgado G.
Ing. Maribel Castro L.

Localización: PAUTE

Abscisa: CANTERA

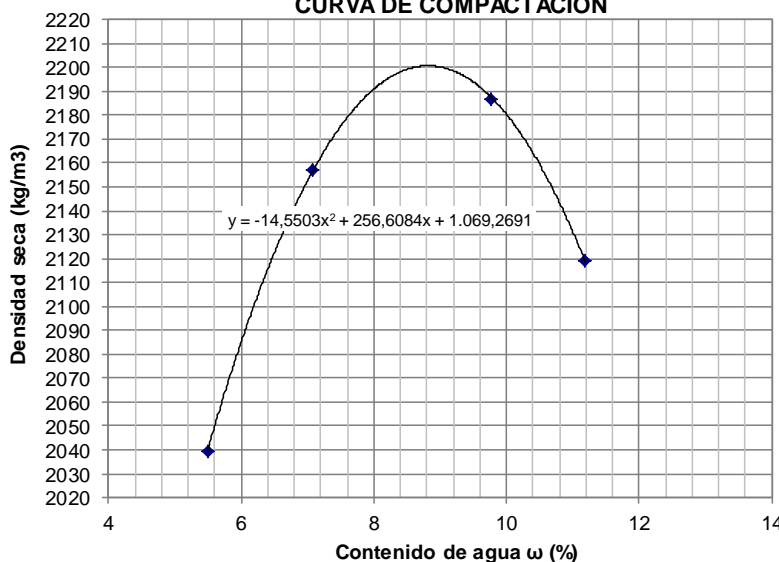
Muestra 70% Mina la Virginia + 30% Mina Araña Huaycu

Descripción: Gris claro granular con limo y arcilla

ENSAYO PROCTOR: MODIFICADO

Peso del cilindro	5,728	Kg.
Volumen del cilindro	0,0020830	m3
Peso del martillo	10	Lbs.
Altura de caída del martillo	18	plgs.
Número de capas	5	
Número de golpes/capa	56	
Energía de compactación	57.103	lb-ft / ft3

No.	Cáp. No.	Peso tierra húmeda + cáp. gr.	Peso tierra seca + cáp. gr.	Peso de cáp. gr.	Peso de agua gr.	Peso seco gr.	Cont. de agua %	Cont. de agua Prom. %	Peso tierra húmeda + cilindro Kg.	Peso tierra húmeda Kg.	$\frac{1}{1 + w}$	Peso tierra seca Kg.	Densidad seca Kg/m ³
1	19	107,74	103,13	17,82	4,61	85,31	5,40	5,49	10,209	4,481	0,9480	4,248	2039
	17	109,81	104,95	17,81	4,86	87,14	5,58						
2	4	101,90	96,27	17,68	5,63	78,59	7,16	7,08	10,540	4,812	0,9339	4,494	2157
	15	105,91	100,15	17,83	5,76	82,32	7,00						
3	22	79,34	73,64	16,70	5,70	56,94	10,01	9,77	10,728	5,000	0,9110	4,555	2187
	5	89,64	83,43	18,31	6,21	65,12	9,54						
4	18	93,22	85,51	17,78	7,71	67,73	11,38	11,19	10,636	4,908	0,8994	4,414	2119
	10	92,15	84,78	17,77	7,37	67,01	11,00						

CURVA DE COMPACTACIÓN**RESULTADOS**

Densidad Seca Máxima

2201 Kg/m³

Humedad Óptima

8,82 %

Observaciones :



Normas de Referencia:

ASTM D 1557-91

AASHTO T 180-93

OBSERVACIONES:



 DETERMINACIÓN DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO CON LA ADICIÓN DE PUZOLANA PARA VÍAS RURALES CON MATERIAL LOCAL DE LA MINA LA VIRGINIA Y ARAÑA HUAYCU  FACULTAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE CUENCA C.B.R. REGISTRO			
PROYECTO: TESIS		FECHA: 06 de agosto del 2016	
Localización: PAUTE		RESPONSABLES:	
Abscisa: CANTERA		Ing. Paola Delgado G.	
Muestra: 70% Mina la Virginia + 30% Mina Araña Huaycu		Ing. Maribel Castro L.	
Descripción: Gris claro granular con limo y arcilla			
Datos de los Moldes			
Peso del martillo = 10 Lbs		Altura caída del martillo = 18 plgs.	
Numero de capas = 5			
Molde № 56		Molde № 25	
Molde № 12			
Diámetro = 0,128 m	5,046 plgs.	0,128 m	5,046 plgs.
Altura = 0,1270 m	5,000 plgs.	0,1270 m	5,000 plgs.
Volumen = 0,002096 m³		0,002125 m³	0,002127 m³
Molde	№	9	5
Golpes	№	56	25
ANTES DE INMERSIÓN			
Peso suelo húmedo + molde	Kg	11,196	10,980
Peso de molde	Kg	6,191	6,167
Peso suelo húmedo	Kg	5,005	4,813
Peso suelo seco	Kg	4,580	4,405
Densidad húmeda	Kg/m3	2388	2265
Densidad Seca	Kg/m3	2185	2073
HUMEDAD	Tarro №	35	26
	Peso húmedo + recipiente	gr 104,37	96,51
	Peso seco + recipiente	gr 97,57	89,26
	Peso de agua	gr 6,80	7,25
	Peso de recipiente	gr 17,72	17,18
	Peso seco	gr 79,85	72,08
	Contenido de agua	% 8,52	10,06
	Promedio	% 9,29	9,27
LECTURAS DE HINCHAMIENTO			
Inicial	pulg	0,000	0,000
24 Horas	pulg	0,020	0,040
48 Horas	pulg	0,030	0,040
72 Horas	pulg	0,030	0,040
96 Horas	pulg	0,030	0,050
Expansión	%	0,60	0,80
DESPUÉS DE INMERSIÓN			
Peso suelo húmedo + molde	Kg	11,267	11,089
Peso de molde	Kg	6,191	6,167
Peso suelo húmedo	Kg	5,076	4,922
Peso suelo seco	Kg	4,612	4,468
Densidad húmeda	Kg/m3	2422	2316
Densidad Seca	Kg/m3	2200	2103
HUMEDAD	Tarro №	11	12
	Peso húmedo + recipiente	gr 104,40	108,77
	Peso seco + recipiente	gr 96,42	100,36
	Peso de agua	gr 7,98	8,41
	Peso de recipiente	gr 16,91	16,94
	Peso seco	gr 79,51	83,42
	Contenido de agua	% 10,04	10,08
	Promedio	% 10,06	10,16
Observaciones: 'NORMA : ASTM D 1883 -94 AASHTO T 193- 93			





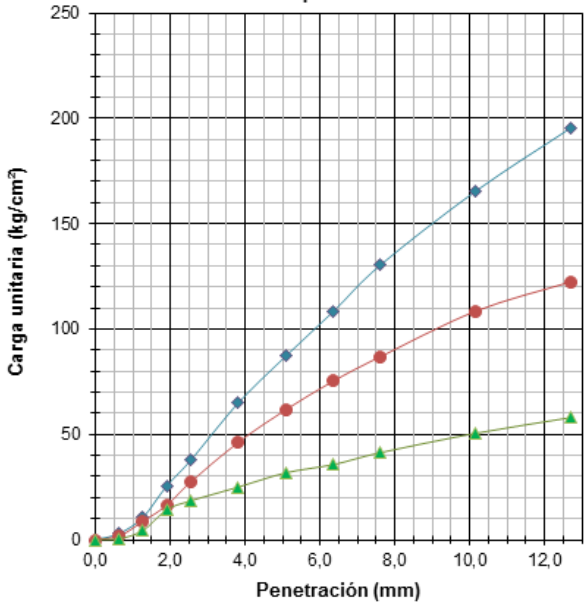
 		C.B.R. CARGA UNITARIA - PENETRACION					
PROYECTO: TESIS Localización: PAUTE Abscisa: CANTERA Muestra: 70% Mina la Virginia + 30% Mina Araña Huaycu Descripción: gris claro granular con limo y arcilla		FECHA: 06 de agosto del 2016 RESPONSABLES: Ing. Paola Delgado G. Ing. Maribel Castro L.					
Molde №	3	10	15	3	10	15	
№ Golpes por capa	56	25	10	56	25	10	
Penetración		Carga de penetración en Lb.			Carga de penetración en Kg.		
(mm)	(plg)						
0,0	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0,00
0,64	0,025	130	79	22	59,21	35,88	9,86
1,27	0,05	474	387	197	215,30	175,83	89,70
1,91	0,075	1125	720	628	511,32	327,43	285,27
2,54	0,10	1658	1204	813	753,53	547,21	369,59
3,81	0,15	2854	2032	1099	1297,14	923,52	499,66
5,08	0,20	3834	2714	1398	1742,52	1233,45	635,57
6,35	0,25	4764	3312	1570	2165,49	1505,26	713,61
7,62	0,30	5743	3827	1820	2610,43	1739,40	827,08
10,2	0,40	7282	4775	2224	3310,14	2170,42	1010,98
12,7	0,50	8602	5388	2552	3909,82	2448,96	1159,89
Penetración		Carga Unitaria en Lb/plg²			Carga Unitaria en Kg/cm²		
(mm)	(plg)						
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,64	0,025	42,02	25,46	7,00	2,96	1,79	0,49
1,27	0,05	152,79	124,78	63,66	10,76	8,79	4,49
1,91	0,075	362,87	232,37	202,45	25,57	16,37	14,26
2,54	0,10	534,76	388,34	262,29	37,68	27,36	18,48
3,81	0,15	920,55	655,40	354,60	64,86	46,18	24,98
5,08	0,20	1236,63	875,35	451,05	87,13	61,67	31,78
6,35	0,25	1536,80	1068,25	506,43	108,27	75,26	35,68
7,62	0,30	1852,56	1234,41	586,96	130,52	86,97	41,35
10,2	0,40	2349,13	1540,30	717,47	165,51	108,52	50,55
12,7	0,50	2774,71	1737,97	823,15	195,49	122,45	57,99

Gráfico para CBR



Observaciones:
 Por la concavidad de las curvas, estas deben ser corregidas

Normas de Referencia:
 ASTM D1883-94
 AASHTO T 193-93



CORRECCIÓN DE LA CURVA CBR

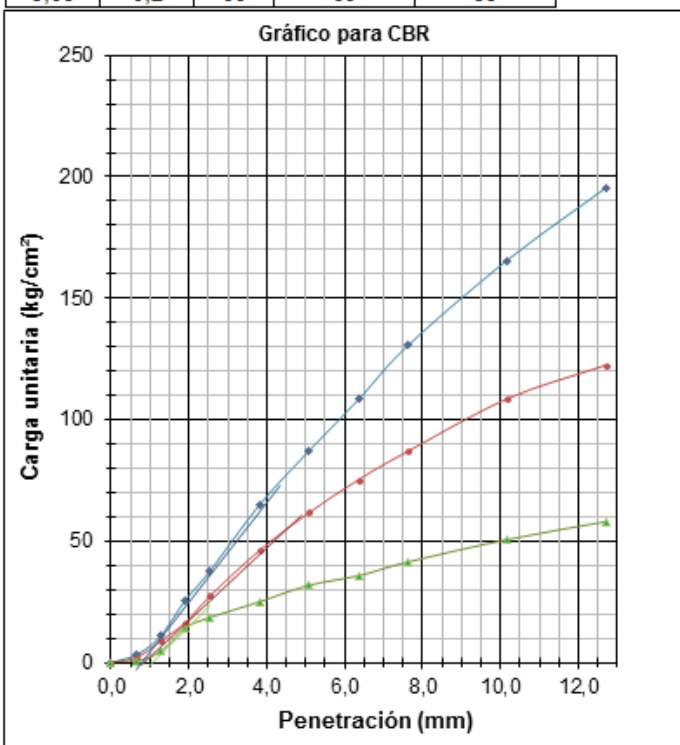
PROYECTO: TESIS
Localización: PAUTE
Abscisa: CANTERA
Muestra: MINA LA VIRGINIA
Descripción: gris claro granular con limo y arcilla

FECHA: 06 de agosto del 2016
RESPONSABLES:
Ing. Paola Delgado G.
Ing. Maribel Castro L.

Nº Golpes por capa		56	25	10	
NUEVO	0	0,071	0,076	0,102	mm
		0,028	0,03	0,04	pulg

VALORES CORREGIDOS

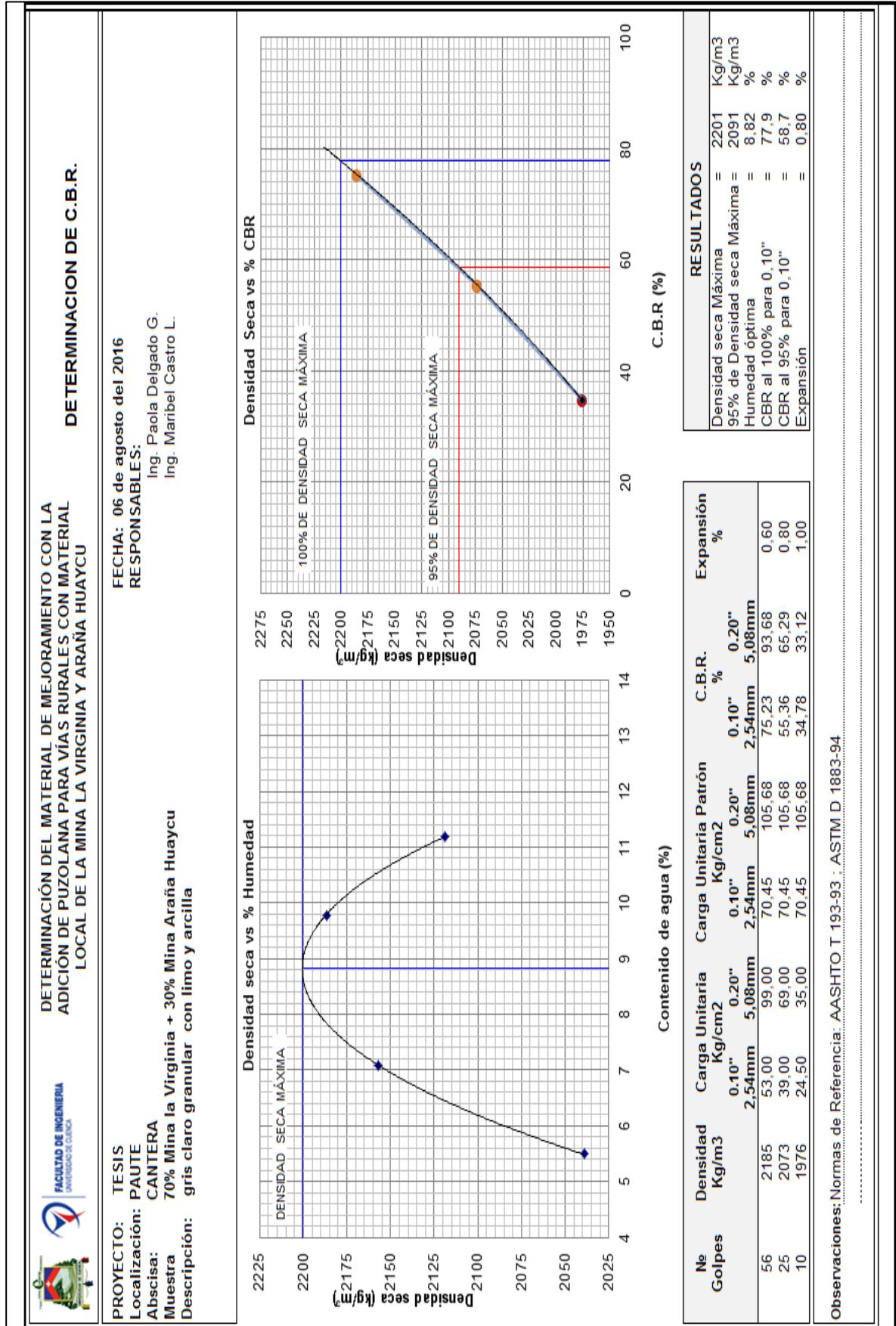
PENETRACIÓN		CARGA UNITARIA		
mm	(pulg)	56	25	10
2,54	0,1	53	39	24,5
5,08	0,2	99	69	35



C.B.R. para 0,1" = 2,54 mm	
Nº Golpes	56
Carga Unitaria (Kg/cm2)	53,00
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	70,45
C.B.R. (%)	75,23
Nº Golpes	25
Carga Unitaria (Kg/cm2)	39,00
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	70,45
C.B.R. (%)	55,36
Nº Golpes	10
Carga Unitaria (Kg/cm2)	24,50
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	70,45
C.B.R. (%)	34,78

C.B.R. para 0,1" = 2,54 mm	
Nº Golpes	56
Carga Unitaria (Kg/cm2)	99,00
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	105,68
C.B.R. (%)	93,68
Nº Golpes	25
Carga Unitaria (Kg/cm2)	69,00
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	105,68
C.B.R. (%)	65,29
Nº Golpes	10
Carga Unitaria (Kg/cm2)	35,00
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	105,68
C.B.R. (%)	33,12

Observaciones:





CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

PROYECTO: TESIS
Localización: PAUTE
Abcisa: CANTERA
Muestra: 70% Mina la Virginia + 30% Mina Araña Huaycu
Descripción: gris claro granular con limo y arcilla

FECHA: 06 de agosto del 2016
RESPONSABLES:
Ing. Paola Delgado G.
Ing. Maribel Castro L.

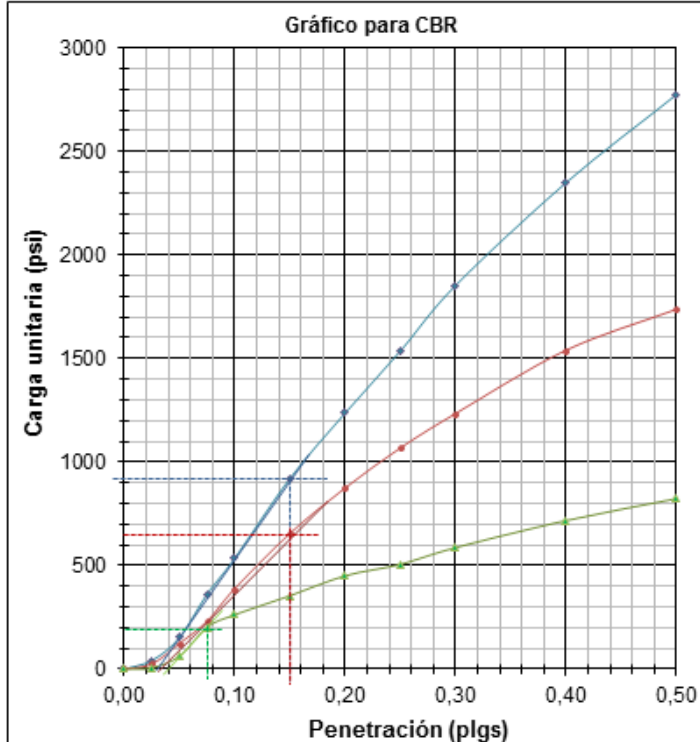
Nº Golpes por capa	56	25	10
NUEVO	0	0,028	0,030
			0,040

pulg

L= 5 Pulg

	CARGA UNITARIA		
	56	25	10
σ (lb/pulg ²)	920,55	655,40	202,45
ΔL (pulg)	0,1218	0,12	0,035
$\Delta L/L$	0,0244	0,024	0,007
MR (lb/pulg ²)=	37797	27308	28921

MR=	37797	lb/pulg ²
-----	-------	----------------------



Observaciones: